Niveau(x) d'enseignement : 0 Numéro EDUQ : 9270358
Centre d'intérêt : 854

La situation des biotechnologies au Québec en 1991 . -- Sainte-Foy : Conseil de la science et de la technologie, 1991, c1992.
ix, 97 p. : ill. , 28 cm. -- (Etude / Conseil de la science et de la technologie du Québec)

Code : 2110-0100; 91-2634. Bibliogr. : p. 87-93. Notes (part. bibliogr.) au bas des p.

ISBN 2-550-22855-3

Vedette(s)-secondaire(s) : Conseil de la science et de la technologie (Québec)

Descripteur(s) : Biotechnologie * Santé * Agriculture * Environnement * Recherche-développement * Ressources humaines * Politique gouvernementale * Règle administrative

Identificateur(s) de nom : Québec (Province)

Identificateur(s) de sujet : Agro-alimentaire * Foresterie

Les études présentées ici ont servi à la préparation de l'avis intitulé **Les biotechnologies : un choix stratégique pour le Québec** (EDUQ 9270130). Elles portent sur le développement industriel des biotechnologies dans quatre principaux champs d'application : la santé humaine et animale, l'agro-alimentaire, la foresterie et l'environnement. Elles examinent également les activités de recherche-développement et de transfert, les ressources humaines, les politiques gouvernementales et les questions de réglementation reliées au développement des biotechnologies.

Type de document :

Conseil de la science et de la technologie

étude

La situation des biotechnologies au Québec en 1991

Québec

1270331

La situation des biotechnologies au Québec en 1991*

Décembre 1991

* Étude ayant servi à la préparation de l'avis intitulé *Les biotechnologies : un choix stratégique pour le Québec*.

Conseil de la science et de la technologie

2050, boul. Saint-Cyrille Ouest
5e étage
Sainte-Foy (Québec)
G1V 2K8

Téléphone : (418) 643-6179

Photocomposition et montage
Traitex inc.

Conception graphique de la page couverture
Mc gee – concept image

Responsable de l'édition
Jacques Langlois
Responsable des communications
Conseil de la science et de la technologie

Recherche et rédaction
Alain Bergeron
Roger Bertrand
Joseph Caron
Gabriel Clairet
Pauline Gagnon
Christian Lafrance

© Gouvernement du Québec, 1992
Premier tirage, février 1992

Dépôt légal : 1er trimestre 1992

Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN : 2-550-22855-3

Avant-propos

La ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science, madame Lucienne Robillard, confiait le 25 avril 1991 au Conseil de la science et de la technologie le mandat d'examiner la situation des biotechnologies au Québec et de lui transmettre un avis sur cette question. Les biotechnologies constituent des technologies génériques susceptibles de revitaliser plusieurs secteurs industriels. Elles présentent à ce titre un enjeu économique important.

La ministre mentionnait de plus dans sa lettre que le ministre de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie, monsieur Gérald Tremblay, «compte élaborer un plan d'action dans le but de stimuler le développement des bio-industries».

En décembre 1991, le Conseil a transmis à la ministre de l'Enseignement supérieur et de la science un avis intitulé : «Les biotechnologies : un choix stratégique pour le Québec».

Au cours de la préparation de cet avis, le secrétariat du Conseil a réalisé plusieurs études qui font l'objet de la présente publication. D'autres études effectuées à l'externe et traitant notamment de l'utilisation des biotechnologies en agriculture et en foresterie ainsi que des politiques, des programmes et de la réglementation en vigueur dans d'autres pays seront publiées sous peu.

Les études présentées dans ce document portent sur le développement industriel des biotechnologies dans les quatre principaux champs d'application : la santé humaine et animale, l'agro-alimentaire, la foresterie et l'environnement. Elles examinent également les activités de recherche-développement et de transfert, les ressources humaines, les politiques gouvernementales et les questions de réglementation reliées au développement des biotechnologies.

Au nom du Conseil, je remercie tout le personnel du secrétariat pour avoir permis la réalisation de ces études dans un court laps de temps. Je tiens aussi à souligner l'excellent travail des membres du Comité sur les biotechnologies que le Conseil a créé pour mener à bien tous ces travaux.

Louis Berlinguet
Président

Table des matières

Liste des tableaux ..... **VII**
Liste des graphiques ..... **IX**

Chapitre 1
Les biotechnologies en 1991 ..... **1**

1.1 Des technologies génériques aux effets considérables à long terme 1
1.2 Les enjeux économiques des biotechnologies 4

Chapitre 2
Le développement industriel des biotechnologies **7**

2.1 Une vue d'ensemble 7
2.2 La santé 14
2.3 L'agro-alimentaire 18
2.4 La foresterie 23
2.5 L'environnement 26
2.6 Conclusion 30

Chapitre 3
Les activités de recherche-développement et le transfert **33**

3.1 La R-D sur le plan international 33
3.2 La recherche en biotechnologie dans les universités du Québec 35
3.3 La recherche gouvernementale 45
3.4 La recherche dans les entreprises 48
3.5 Le transfert technologique et les liaisons avec les entreprises 50
3.6 Conclusion 52

Chapitre 4
Les ressources humaines **55**

4.1 La disponibilité d'une main-d'oeuvre qualifiée 56
4.2 La formation dans les disciplines liées aux biotechnologies 59
4.3 Conclusion 62

Chapitre 5
Les politiques gouvernementales **65**

5.1 Sur le plan international 65
5.2 La politique canadienne 68
5.3 La politique du Québec 70
5.4 Conclusion 74

Chapitre 6
La réglementation **77**

6.1 Un élément stratégique 77
6.2 Une protection insuffisante pour les nouvelles substances pharmaceutiques 77

6.3 Un régime encore mal adapté à la protection des nouvelles formes vivantes 78
6.4 La réglementation en matière de protection de la santé publique et de l'environnement : un équilibre à trouver 79
6.5 Conclusion 81

Glossaire **83**
Bibliographie **87**
Acronymes et sigles utilisés **95**

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Importance relative des technologies pour la croissance future des économies, selon les décideurs d'entreprises, 1988 (en pourcentage) 5

Tableau 2.1 Estimation du marché mondial des produits issus des biotechnologies en l'an 2000 8

Tableau 2.2 Entreprises utilisant les biotechnologies au Canada en 1990 10

Tableau 2.3 Entreprises recensées en biotechnologie selon la catégorie d'entreprise 14

Tableau 2.4 Statistiques de l'industrie pharmaceutique et des médicaments, Québec et Canada 15

Tableau 2.5 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de la santé) par taille et exemples de produits et procédés en 1991 17

Tableau 2.6 Composition du marché des biotechnologies dans la production agricole aux États-Unis, 1990 et 1995 (estimations) 20

Tableau 2.7 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de l'agro-alimentaire) par taille, et exemples de produits et procédés en 1991 21

Tableau 2.8 Valeur des expéditions de l'exploitation forestière ainsi que des pâtes et papiers, 1988 25

Tableau 2.9 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de la foresterie) par taille et exemples produits commercialisés et en développement en 1991 26

Tableau 2.10 Estimation des dépenses liées à l'assainissement des eaux et des sols par le secteur public et privé, Québec, Canada, États-Unis 27

Tableau 2.11 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de l'environnement) par taille et exemples de produits et procédés en 1991 29

Tableau 3.1 Dépenses publiques en biotechnologie dans certains pays, 1985-1986 34

Tableau 3.2 Nombre de chercheurs en biotechnologie dans les universités québécoises selon les domaines d'application, 1991 36

Tableau 3.3 Actions structurantes dans les domaines des biotechnologies, 1984-1985 à 1990-1991 43

Tableau 3.4 Participation des universités québécoises aux réseaux des centres d'excellence oeuvrant en biotechnologie 44

Tableau 3.5 Estimations des dépenses de recherche intra-muros en matière de biotechnologie des laboratoires et centres de recherche gouvernementaux au Québec, 1990-1991 45

Tableau 3.6 Principales unités actives en recherches en biotechnologie au Québec, 1991 52

Tableau 4.1 Scientifiques, ingénieurs et techniciens (sciences de la vie, chimie, génie civil, génie chimique) par 1 000 habitants, 1971, 1981, 1986, Québec, Ontario, Canada 56

Tableau 4.2 Inscriptions plein temps par 100 000 habitants dans les disciplines liées aux biotechnologies, Québec, Ontario, Canada, 1985-1986 à 1989-1990 57

Tableau 4.3 Diplomation dans les disciplines pertinentes liées aux bio technologies, aux trois cycles universitaires, sur la période 1986-1990, Québec 57

Tableau 4.4 Diplomation par million d'habitants dans les disciplines pertinentes liées aux biotechnologies, aux trois cycles universitaires, moyenne annuelle 1986-1990, Québec, Ontario, Canada 58

Tableau 5.1 Principales mesures d'appui au développement des biotechnologies par le gouvernement du Québec (sur une période de sept ans) 71

Tableau 6.1 Comparaison du Canada avec d'autres pays relativement au régime de protection de la propriété intellectuelle des produits biotechnologiques 79

Liste des graphiques

Graphique 2.1 Répartition des entreprises en biotechnologie au Canada et aux États-Unis selon divers champs d'application, 1990 11

Graphique 2.2 Répartition selon la taille et les champs d'application des entreprises utilisant les biotechnologies au Québec en 1990 12

Graphique 2.3 Répartition des entreprises utilisant les biotechnologies selon les principaux champs d'application, Québec et reste du Canada, 1990i 13

Graphique 3.1 Répartition par secteur des fonds alloués aux recherches en biotechnologie dans les universités québécoises, 1989-1990 36

Graphique 3.2 Répartition par domaine des dépenses de recherches en biotechnologie effectuées dans des laboratoires, centres et instituts gouvernementaux au Québec, 1990-1991 45

Graphique 3.3 Répartition des personnes vouées aux recherches en biotechnologie dans les entreprises, Québec, 1991 48

Chapitre 1
Les biotechnologies en 1991

Les économies industrialisées ont connu plusieurs transformations de première importance à la suite du développement et de la diffusion de technologies génériques, c'est-à-dire de technologies dont les applications se retrouvent dans un vaste ensemble de secteurs. La révolution qu'a provoquée, au tournant du 20e siècle, l'électronique constitue un exemple tangible. La diffusion de cette technologie a entraîné des modifications profondes non seulement dans les moyens de production d'industries de toutes sortes, mais aussi dans les biens et les services maintenant d'un usage courant chez les consommateurs.

1.1 Des technologies génériques aux effets considérables à long terme

Les biotechnologies sont appelées à jouer un rôle tout aussi important que les autres technologies génériques dans un avenir rapproché. Les biotechnologies sont l'ensemble des moyens utilisant les organismes vivants (micro-organismes naturels ou génétiquement modifiés) afin d'améliorer les techniques de production traditionnelles et produire de nouveaux biens et services. Bien que l'homme ait de tout temps utilisé les techniques du vivant pour produire des biens, l'essor des biotechnologies a pris une signification nouvelle au début des années 70, avec le développement du génie génétique.

Les applications actuelles des biotechnologies

L'industrie pharmaceutique s'intéresse de plus en plus aux biotechnologies; celles-ci permettent de développer de nouveaux médicaments et tests diagnostiques pour la santé humaine et animale.

En agriculture, les biotechnologies permettent de produire en grand nombre des plantes et des animaux transgéniques; les modifications génétiques visent à produire des variétés nouvelles résistant mieux aux maladies ou encore donnant un meilleur rendement de croissance.

Les biotechnologies permettent aussi d'améliorer notre production forestière. On peut produire de nouvelles variétés d'arbres qui résistent mieux aux parasites et insectes; on met aussi au point des biopesticides qui sont plus discriminants et moins dommageables aux autres organismes de l'environnement que les pesticides traditionnels.

L'environnement est un autre champ où les biotechnologies auront un apport majeur. Des bioréacteurs sont expérimentés pour le traitement des rejets d'usines; des techniques de biofiltration sont de plus en plus utilisées et des micro-organismes permettent, par biolixiviation, l'extraction de métaux.

Les biotechnologies permettent, entre autres, d'améliorer les techniques thérapeutiques, les techniques diagnostiques, les techniques de contrôle de la croissance chez les animaux et les végétaux ainsi que les techniques de production de biens. Elles commencent à donner naissance à une gamme de nouveaux produits et de procédés dans le domaine de la santé, du diagnostic médical, des applications vétérinaires, de l'agriculture, de la sylviculture et de l'industrie alimentaire.

De plus, des applications nouvelles se créent dans d'autres domaines ; par exemple, on utilise des organismes vivants pour extraire des métaux, pour décontaminer les sols et les eaux de multiples produits toxiques. Ainsi, la variété des secteurs économiques où les biotechnologies s'appliquent confère à celles-ci le statut de technologies génériques, c'est-à-dire applicables à plusieurs procédés de fabrication de biens et de services. Les biotechnologies portent les ferments de la prochaine révolution technologique et économique.

Une diffusion lente mais certaine

Dans une étude[1], l'OCDE a déterminé un certain nombre de conditions auxquelles doit répondre une nouvelle technologie avant qu'on ne considère qu'elle a des répercussions importantes sur le plan macro-économique :

- que les technologies soient de nature générique, c'est-à-dire qu'elles modifient une gamme relativement vaste de procédés actuels ;
- que la nouvelle gamme des produits et procédés apporte une amélioration aux caractéristiques techniques des produits auxquels ils se substituent ;
- que les technologies amènent une réduction des coûts des produits et services ;
- que les produits et techniques soient acceptés par la société et les responsables politiques ; et,
- que les produits et techniques soient acceptables sur le plan de l'environnement.

Certaines biotechnologies appliquées aux domaines de la santé et de l'agro-alimentaire remplissent les cinq conditions et se diffusent rapidement à l'instar de la microélectronique et de l'informatique. Mais dans les autres secteurs, les biotechnologies ne semblent satisfaire encore, pour la plupart, qu'aux deux premières conditions.

Dans beaucoup de domaines d'application, les biotechnologies sont au stade de l'expérimentation en ce qui concerne la faisabilité industrielle : étude des procédés de mise à l'échelle industrielle et des répercussions environnementales. De telles recherches sont encore coûteuses, d'autant plus que la réglementation ne semble pas évoluer au même rythme que les applications technologiques.

Comme les autres technologies génériques, les biotechnologies vont se diffuser lentement dans l'appareil économique. Ce sont des techniques émergentes et en pleine évolution, et elles doivent faire la démonstration de leur rentabilité économique en comparaison des techniques auxquelles elles veulent se substituer. Il faut cependant relativiser lorsqu'on parle de diffusion lente. Les divers scénarios situent la pleine expansion des biotechnologies au tournant du prochain siècle, au plus tard dans la deuxième

1 *Biotechnologie : effets économiques et autres répercussions*, OCDE, Paris, 1989.

décennie de ce siècle. Mais dès maintenant, on commence à connaître la diffusion de produits dont les effets se font de plus en plus sentir.

De plus, outre cette rentabilité économique qui reste à atteindre, les biotechnologies posent des problèmes d'éthique, de réglementation et d'acceptation sociale. La modification par l'homme d'organismes vivants pour ses besoins de production amène à s'interroger sur les risques potentiels de ces transformations. En effet, les biotechnologies, avant d'être approuvées et acceptées dans nos sociétés de plus en plus sensibilisées aux atteintes environnementales, doivent démontrer qu'elles ne sont pas dangereuses. Cela oblige, en particulier, à réviser les lois et les règlements actuels dans les domaines de la santé, ou encore de l'alimentation et de l'environnement, au regard des problèmes nouveaux que soulève l'usage des biotechnologies.

Définition

Aux fins du présent document, le Conseil a retenu essentiellement la définition des biotechnologies que le gouvernement du Québec a adoptée en 1982 dans son document de politique À l'heure des biotechnologies. Quelques modifications ont été apportées à cette définition en s'inspirant des travaux de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), afin d'insister sur des aspects concrets et opérationnels.

Il faut souligner, dans la définition retenue, la référence à «l'exploitation industrielle, soit la production ou l'amélioration de biens et services et leur mise en marché». Ce sont ces activités qui confirment la traduction des connaissances et des savoir-faire en activités proprement entrepreneuriales. Il est essentiel, pour cela, de développer les activités biotechnologiques sur un ensemble intégré de connaissances et de savoir-faire provenant, par exemple, autant des disciplines scientifiques de base que du génie des procédés ou du génie chimique, comme du savoir-faire en matière de commercialisation et de mise en marché.

Définition des biotechnologies:

Les biotechnologies sont l'ensemble des méthodes, des procédés et des techniques qui, appliqués à des micro-organismes, cellules humaines, animales ou végétales ou à des fractions de celles-ci, visent à concevoir, développer et produire de nouvelles molécules et cellules, de nouveaux organismes et procédés ou encore à améliorer ceux déjà existants, en vue d'une exploitation industrielle, soit la production ou l'amélioration de biens et services et leur mise en marché.

Cette définition inclut, par exemple, les techniques biotechnologiques nouvelles telles que les recombinaisons de l'ADN, les fusions cellulaires, les techniques nouvelles liées aux procédés de fermentation, les techniques nouvelles liées aux connaissances des procédés immunologiques des corps vivants, les nouvelles technologies de reproduction, etc. Le développement du génie des procédés est également important pour l'ensemble des biotechnologies.

Aux fins de la présente étude, les domaines d'application des biotechnologies sont délimités de façon à en mieux analyser leur évolution. Les domaines retenus sont la santé humaine et animale, l'agro-alimentaire, la foresterie et l'environnement.

Il faut enfin mentionner que la diffusion des biotechnologies est souvent moins visible que la diffusion de l'électronique par exemple. Plusieurs applications des biotechnologies se situent dans les procédés de fabrication, ce que le consommateur ne connaît généralement pas. Même les produits de consommation courante, comme les médicaments, ne laissent pas toujours percevoir qu'ils ont été améliorés par les biotechnologies.

Malgré ces contraintes qui freinent l'usage des biotechnologies, celles-ci s'imposeront dans les années à venir par intérêt et par nécessité. En effet, les biotechnologies sont importantes parce qu'elles sont une source d'innovations dans des domaines vitaux tels que la santé, l'agro-alimentaire, l'environnement et bien d'autres domaines importants sur le plan économique, comme la foresterie, l'extraction de minerais, etc. Mais elles apparaissent nécessaires, parce qu'elles répondent à des préoccupations fondamentales concernant le développement économique et la qualité de l'environnement. Les biotechnologies permettent, notamment, d'envisager la mise au point de procédés de production plus efficaces sur le plan énergétique et moins polluants. Elles permettent aussi d'envisager des solutions potentiellement plus efficaces, sinon moins coûteuses, à l'assainissement de l'environnement : décontamination des sol- des eaux, etc. Les biotechnologies s'adressent ainsi aux principales préoccupations de cette fin de siècle : préserver l'environnement, améliorer la santé humaine et animale, améliorer l'efficacité des productions alimentaires, réduire la consommation des énergies traditionnelles, etc. Pour cela, leur développement est inévitable et de plus en plus nécessaire. Elles donnent **une dimension nouvelle au concept de développement économique durable**.

1.2 Les enjeux économiques des biotechnologies

Les biotechnologies portent, de l'avis de plusieurs spécialistes, les ferments de la prochaine révolution technologique et économique. C'est du moins ce qui ressort d'une enquête internationale auprès d'industriels ; en effet, ceux-ci perçoivent les biotechnologies comme une des principales technologies (la seconde en importance après les communications) sur lesquelles s'appuiera la croissance économique dans les années futures (tableau 1.1). Dans une étude de l'OCDE[2], les biotechnologies viennent au troisième rang, après les technologies de l'information et la technologie des matériaux, en ce qui a trait à l'impact économique qu'elles auront dans les années futures. On estime que les biotechnologies auront un effet sensible sur l'emploi à long terme seulement, bien qu'elles auront des retombées considérables sur le plan économique dans certains secteurs d'activité (en particulier la santé et l'agro-alimentaire).

Il y a maintenant une vingtaine d'années que les biotechnologies font l'objet d'investissements importants en recherches fondamentales et appliquées. Ces investissements ont porté fruit et nous voyons apparaître sur les marchés des produits nouveaux mis au point à l'aide des biotechnologies ; bien que cela soit particulièrement évident dans le domaine de la santé, c'est de plus en plus vrai dans le domaine agro-alimentaire et en environnement. De plus, la plupart des pays industrialisés ont fait des biotechnologies une priorité d'action pour les années à venir.

Le Québec connaît déjà les répercussions que provoquent les biotechnologies dans le monde entier. Celles-ci modifieront de plus en plus les avantages économiques ; le Québec peut y perdre comme il peut y gagner selon qu'il saura saisir les bonnes occasions. Sur ses

2. *Nouvelles technologies ; une stratégie socio-économique pour les années 90*, OCDE, Paris, 1988.

marchés d'exportation comme sur son marché intérieur, les biotechnologies transformeront progressivement les procédés de fabrication d'un grand nombre d'industries et apporteront des produits nouveaux se substituant aux anciens. La diffusion des biotechnologies sera dans au plus deux ou trois décennies aussi répandue que l'est celle des autres technologies génériques. Le Québec doit être conscient de ces enjeux. Il ne peut davantage se soustraire aux biotechnologies qu'il ne pourrait se passer de l'informatique.

Producteur et exportateur de matières premières, le Québec a d'ailleurs beaucoup à perdre dans cette substitution de produits. S'il ne prend pas le tournant des biotechnologies, il risque de perdre des marchés, et peut-être même certaines de ses industries. Mais il peut tout aussi bien tirer profit des nouveaux avantages qu'offrent les biotechnologies s'il adopte une stratégie misant sur ses acquis qui ne sont pas négligeables.

Ce sont ces acquis, de même que nos forces et faiblesses dans les principaux domaines d'application des biotechnologies, que nous allons décrire dans les sections qui suivent.

Tableau 1.1 Importance relative des technologies pour la croissance future des économies, selon les décideurs d'entreprises, 1988 (en pourcentage)

	É.-U.	Europe	Japon	Asie	moyenne
Communications	15	26	25	35	**26**
Biotechnologies	**12**	**30**	**29**	**17**	**22**
Supraconductivité	3	10	21	12	**12**
Électronique	12	10	14	10	**11**
Ordinateurs	23	6	7	8	**11**
Industrie spatiale	4	4	2	8	**4**
Matériaux industriels	2	7	1	3	**3**
Transport	4	0	1	5	**3**
Autres technologies	25	7	0	2	**8**
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Source : *Biotechnologie et développement industriel*, présentation sur acétates, Centre National de Recherches, données provenant de *The Japan Economic Journal*, 15 octobre 1988.

Chapitre 2
Le développement industriel des biotechnologies

Il est difficile d'évaluer l'importance économique actuelle des biotechnologies, car elles ne représentent pas un secteur d'activité économique à proprement parler : il n'y a pas de rubrique «biotechnologie» dans les statistiques économiques. Cela tient au fait que les biotechnologies font référence autant à des techniques qu'à des produits. Dans certains cas, les biotechnologies permettent la création de nouveaux produits ; cela est particulièrement vrai dans le domaine de la santé. Dans d'autres cas, les biotechnologies améliorent les procédés de production des produits traditionnels. S'il peut être plus facile d'évaluer l'importance économique des nouveaux produits issus des biotechnologies, il est plus difficile d'apprécier l'importance économique de l'utilisation des procédés biotechnologiques. Il apparaît alors naturel de prendre en considération l'ensemble des entreprises utilisant les biotechnologies ou effectuant des recherches sur ces technologies, afin de donner une appréciation plus juste de l'importance des biotechnologies.

Mais, cela ne simplifie pas l'évaluation économique. En effet, pour plusieurs entreprises, par exemple les entreprises pharmaceutiques ou encore celles de la transformation agro-alimentaire, les biotechnologies ne constituent qu'une partie de leurs activités (de production ou de recherche) ou encore, elles représentent un procédé de production. Dans les enquêtes d'Industrie, Sciences et Technologie Canada ou celle du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie[3], on trouve rarement une estimation juste de l'importance économique que représentent pour l'entreprise les biotechnologies.

Malgré un certain souci de ne pas sous-estimer l'importance économique des biotechnologies, il demeure que les évaluations quant au marché actuel des produits issus des biotechnologies risquent de donner une vision restreinte de l'impact de ces technologies. En effet, une telle évaluation ne révèle pas les changements qu'apporteront les biotechnologies en ce qui concerne par exemple la productivité et les possibilités d'innovation futures dans les secteurs et dans les entreprises qui ne se sont pas encore intéressées à ces nouvelles technologies.

2.1 Une vue d'ensemble

La situation sur le plan international

Selon les estimations du Stanford Research Institute (voir le tableau 2.1), le marché mondial des produits issus des nouvelles biotechnologies était de 2,5 milliards de dollars US en 1985 et devrait atteindre 66,1 milliards de dollars (dollars US de 1985) en l'an 2000. Il s'agirait donc d'une croissance annuelle moyenne de 24 %, croissance d'autant

3. Les données sur lesquelles nous nous appuyons sont celles de l'Association canadienne de l'industrie de la biotechnologie qui recense en 1990 environ 92 entreprises en biotechnologie au Québec ; nous utiliserons aussi les données de l'enquête du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec, présentement en cours, qui fournit des informations sur 44 entreprises en biotechnologie, dont les plus importantes.

plus remarquable qu'elle est mesurée en dollars constants. Le secteur de la santé se distingue très nettement de tous les autres. En l'an 2000, il devrait représenter 68 % du marché mondial des biotechnologies, comme le montre le tableau 2.1. Loin derrière, l'agro-alimentaire représenterait 21,5 % de ce marché, l'environnement 3 % et la fourniture d'équipements et instruments, 7 %.

Tableau 2.1 Estimation du marché mondial des produits issus des biotechnologies en l'an 2000

	Milliards de dollars US de 1985	Part du marché en %
Santé	45,0	68,0
Agro-alimentaire	14,0	21,5
Équipement et instrumentation	4,8	7,0
Environnement	2,0	3,0
Chimie	0,3	0,5
Total	**66,1**	**100,0**

Source : *Les biotechnologies au Québec : la conquête d'un nouveau monde*, Legault, Grysole et Associés inc., mars 1989, données provenant du Stanford Research Institute, *The World Biotech, 1987*.

Depuis le début des années 70, l'attrait des biotechnologies a suscité la création de plusieurs centaines de firmes dans le monde, dont une grande partie aux États-Unis. La prédominance des États-Unis dans le développement des biotechnologies et le rôle des petites et moyennes entreprises (PME) est à souligner. Les progrès les plus spectaculaires ont été réalisés par les « nouvelles sociétés de biotechnologies » américaines, en majeure partie des PME. Cette prédominance s'explique par la tradition d'entrepreneurship dans les milieux universitaires et par la disponibilité de capitaux de risque. Les PME ont assuré et assurent encore une grande partie des recherches les plus risquées, constituant en quelque sorte des centres de recherche d'avant-garde. Des liens avec les grandes sociétés, notamment des contrats de recherche, ont rendu possible leur développement phénoménal, mais ces petites sociétés sont vulnérables. La plus solide et la plus connue d'entre elles, Genentech, a été achetée récemment par une grande firme suisse, Hoffmann-La Roche.

Mais plusieurs PME en biotechnologie sont florissantes parce qu'elles reçoivent des commandites de recherche de grands groupes pharmaceutiques américains et européens. Pour beaucoup de grandes sociétés pharmaceutiques internationales, l'investissement dans les petites sociétés américaines leur assure l'acquisition des connaissances, et cela constitue une stratégie de veille technologique. Beaucoup de grands groupes pharmaceutiques, après avoir attendu quelque progrès manifeste, consacrent aujourd'hui des investissements considérables dans les biotechnologies, souvent plus de 200 millions de dollars par année en R-D[4].

En Europe, deuxième bloc en importance, ce sont les grandes entreprises multinationales qui, après avoir hésité elles aussi, commencent à investir lourdement dans les biotechnologies. Elles n'ont guère favorisé la création de PME européennes, mais ont

4. Margaret Sharp, « David et Goliath ou l'entreprise de biotechnologie », *L'observateur de l'OCDE*, n° 164, juin-juillet 1990.

conclu des contrats avec les petites sociétés de biotechnologie des États-Unis, confirmant ainsi la suprématie des chercheurs américains. Elles acquièrent également des entreprises dans d'autres pays ou y implantent parfois leurs activités de recherche-développement.

Quant au Japon, des sociétés chimiques et pharmaceutiques sont en train d'y réaliser des investissements considérables en biotechnologie et rattrapent rapidement les Américains. Il y aurait environ 300 entreprises faisant de la recherche sur les biotechnologies, et plus de 150 grands groupes industriels utiliseraient les biotechnologies dans leur production. Le marché japonais de l'an 2000 en biotechnologie est estimé à 35 milliards de dollars[5].

Le développement industriel des biotechnologies est, en Amérique du Nord particulièrement, le fait des petites et moyennes entreprises hautement spécialisées, souvent des entreprises émergentes mises sur pied par des chercheurs qui veulent exploiter commercialement leurs résultats de recherche. Cela est vrai même dans le secteur de la santé, pourtant dominé par des entreprises multinationales ; ces dernières investissent dans les entreprises à succès et créent des alliances de recherche et de commercialisation. Le Japon se distingue à cet égard, comme certains autres pays d'Europe comme la France, par le fait que ce sont surtout de très grandes sociétés (en particulier dans le domaine pharmaceutique) qui s'impliquent dans les biotechnologies ; en outre, celles-ci investissent beaucoup dans les entreprises américaines. Cela explique le plus faible nombre d'entreprises en biotechnologie recensées dans ces pays en comparaison des États-Unis, bien que les investissements japonais et européens dans les biotechnologies soient substantiels.

Le marché des produits et procédés issus des biotechnologies n'appartient cependant pas aux seuls grands pays ou blocs commerciaux. Il n'y a qu'à mentionner la Suisse pour constater le contraire. Mais il s'agit, il est vrai, d'un petit pays caractérisé principalement par la présence d'entreprises multinationales dans l'industrie chimique et pharmaceutique.

Dès 1987, d'autres pays de taille modeste, comme les Pays-Bas, occupaient déjà une part non marginale du marché mondial. Ce pays joue, en effet, un rôle important en biotechnologie, surtout dans le domaine agro-alimentaire, qu'il s'agisse de la recherche fondamentale et appliquée, ou de la production industrielle et de la commercialisation de produits ou procédés. Cela tient à l'existence d'entreprises dynamiques, et aussi à la volonté, depuis le début des années 80, du gouvernement néerlandais d'apporter son soutien à ce secteur de l'économie. Pour des raisons similaires, le Danemark a aussi réussi à percer sur les marchés mondiaux dans certains champs d'application des biotechnologies[6].

Enfin, il faut souligner que le Canada et le Québec ne sont pas exclus de la course, comme nous le verrons plus en détail. Le Québec réussit à exporter quelques produits. Ses efforts en recherche-développement ne sont pas négligeables et lui permettent d'anticiper quelques percées. Le Québec est un joueur, modeste sans doute, parmi les quelques pays

---

5. Selon les estimations du Japanese Industry Development Center ; voir *Promoting the Competitive Environnement for the Industrial Activities Based on Biotechnology within the Community*, Document de la CEE, Bruxelles, avril 1991. Cette donnée ne peut être comparée aux 66 milliards $ US cités précédemment, les estimations ne provenant pas de la même source et ayant été faites à des périodes différentes.

6. L'analyse qui suit s'appuie en partie sur un document du Conseil : *Les politiques nationales pour le soutien et pour la régulation des biotechnologies dans huit pays industrialisés et dans la Communauté économique européenne*, C. Limoges, E. Fortin, D. Charron, Conseil de la science et de la technologie, 1992.

dans le monde qui ont les bases nécessaires pour occuper une part du marché mondial. Cela ne veut cependant pas dire qu'il n'y ait pas de progrès à accomplir, bien au contraire.

Les biotechnologies au Canada

Les biotechnologies étant encore des technologies en émergence, il n'est pas étonnant de constater que le nombre d'entreprises sensibilisées aux nouvelles biotechnologies soit encore relativement faible. L'industrie canadienne, selon l'étude de la firme Ernst & Young[7] est considérée comme un arrivant tardif, un jeune acteur, dans le domaine des biotechnologies dominé par les États-Unis et le Japon. Au Canada, on dénombre 376 entreprises identifiées aux biotechnologies en 1990 (tableau 2.2).

Tableau 2.2 Entreprises utilisant les biotechnologies au Canada en 1990

	Nombre d'entreprises	Répartition en %
Colombie-Britannique	74	19.7
Alberta	25	6.6
Saskatchewan	8	2.1
Manitoba	4	1.1
Ontario	143	38.0
Québec	**92**	**24.5**
Nouveau-Brunswick	7	1.9
Nouvelle-Écosse	15	4.0
Île-du-Prince-Édouard	6	1.6
Terre-Neuve	2	0.5
Total	**376**	**100**

Source : *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*.

Il est malheureusement impossible d'évaluer avec précision l'importance économique des activités en biotechnologie des entreprises canadiennes et québécoises. Si, pour certaines des entreprises, leur chiffre d'affaires est entièrement lié à l'utilisation de biotechnologies, pour la majorité des entreprises canadiennes et québécoises les biotechnologies sont des technologies qu'elles développent ou adaptent (activités de R-D) ou encore qu'elles utilisent pour améliorer leurs procédés de production. Dans ce cas, les entreprises ne peuvent pas toujours imputer à leur chiffre d'affaires la part exacte relevant de l'utilisation des biotechnologies[8].

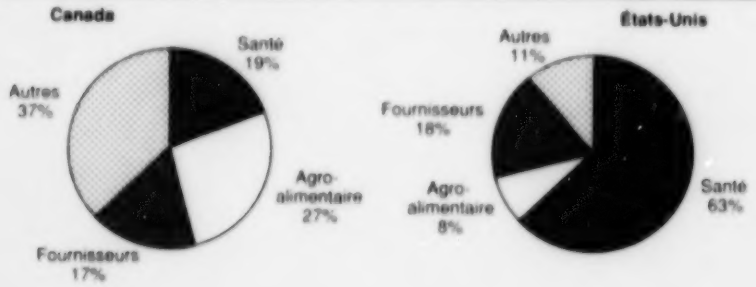
7. *Canadian Biotech '89, On the Threshold*, Ernst & Young 1989.

8. La situation en biotechnologie n'est pas différente de celle rencontrée en informatique. Maintenant, la grande majorité des entreprises utilisent l'informatique comme technologie, bien qu'on ne puisse évaluer directement l'importance économique de ces activités dans l'entreprise, sauf quand celle-ci produit un bien ou service informatique.

La répartition des entreprises actives en biotechnologie au Canada, selon les principaux domaines d'application, s'apparente à ce qui est observé au Royaume-Uni ou encore au Japon[9]. Par contre aux États-Unis, la proportion des entreprises de biotechnologie dans le domaine de la santé (63 % des entreprises) est beaucoup plus élevée qu'ailleurs[10] (graphique 2.1). Il est toutefois délicat de comparer la situation industrielle des biotechnologies entre les pays, car les relevés d'enquête n'utilisent pas les mêmes critères pour définir une entreprise utilisant les biotechnologies.

Mais sous d'autres aspects, les entreprises canadiennes en biotechnologie sont semblables aux entreprises américaines, si ce n'est la taille de celles-ci. En comparaison des entreprises américaines et pour tous les secteurs confondus, elles investissent une part équivalente de leurs ventes en R-D, le volume des ventes par employé est du même ordre et les perspectives de croissance du marché, telles qu'elles sont évaluées par les entreprises, sont similaires[11]. C'est plutôt la structure de l'économie canadienne et notre législation qui expliquent certaines particularités des entreprises canadiennes. Par exemple, les entreprises canadiennes ont moins de brevets que les entreprises américaines et elles dépendent plus des exportations que les entreprises des autres pays, à cause du faible bassin de population.

Graphique 2.1 Répartition des entreprises en biotechnologie au Canada et aux États-Unis selon divers champs d'application, 1990



Note : Les données du recensement canadien ont été regroupées selon la classification utilisée par Ernst & Young pour les États-Unis[12].

Sources : Selon les données du *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*, et *Biotech 1991 : A Changing Environment*, Ernst & Young, 1990.

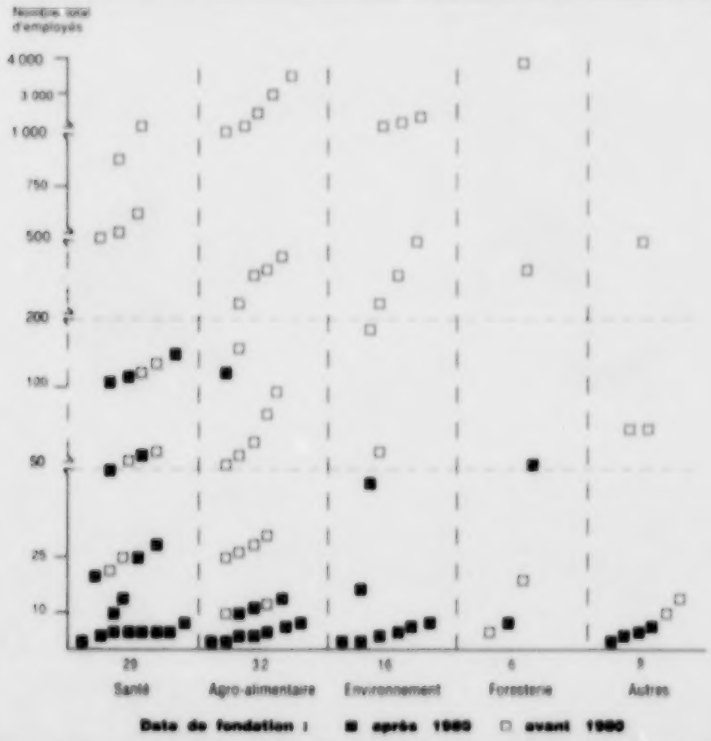
9. *Canadian Biotech 1989, On the Threshold*, Ernst et Young 1989.
10. *Biotech 1991 : A Changing Environment*, Ernst & Young, 1990.
11. Selon les analyses de la firme de consultants Ernst & Young, *op. cit.*
12. Le *Canadian Biotechnology Directory* a une définition beaucoup plus large des biotechnologies et, ainsi, des entreprises utilisant ces biotechnologies que celle utilisée par la firme américaine Ernst & Young.

Le Québec dans le contexte canadien

Le Québec est au deuxième rang, après l'Ontario, quant à l'importance industrielle des biotechnologies. Selon les données d'enquête de 1990 de l'Association canadienne de l'industrie de la biotechnologie, le Québec comptait 92 entreprises en biotechnologies, soit 24,5 % des entreprises canadiennes, tandis que l'Ontario regroupait 38 % des entreprises canadiennes (tableau 2.2).

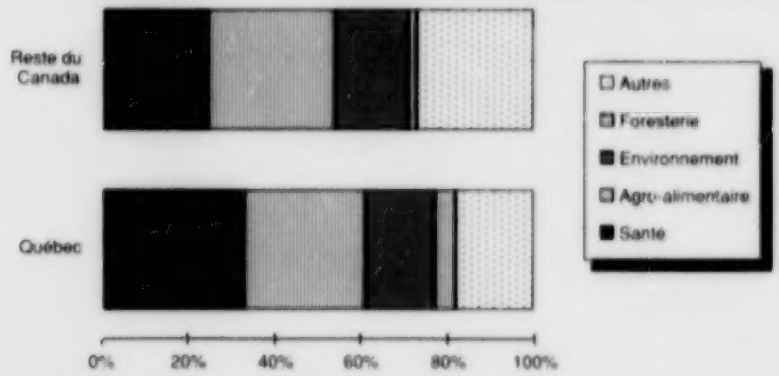
La croissance rapide du nombre d'entreprises actives en biotechnologie au cours des cinq dernières années au Québec comme ailleurs au Canada fait en sorte qu'il y a beaucoup de très jeunes entreprises en phase de démarrage ; cela est vrai dans tous les domaines d'application des biotechnologies (graphique 2.2).

Graphique 2.2 Répartition selon la taille et les champs d'application des entreprises utilisant les biotechnologies au Québec en 1990



Sources : *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*, *Québec Biotechnology Company Directory, 1990*, et enquête du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec.

Graphique 2.3 Répartition des entreprises utilisant les biotechnologies selon les principaux champs d'application, Québec et reste du Canada, 1990



Note : La répartition des *entreprises* selon les champs d'application n'est pas la même que celle utilisée au graphique 2.1.

Source : Selon les données du *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*.

La répartition des entreprises selon les principaux champs d'application est au Québec assez semblable à celle observée ailleurs au Canada. Selon le recensement de l'Association canadienne de l'industrie de la biotechnologie, c'est dans le domaine de l'agro-alimentaire que les entreprises actives en biotechnologie sont les plus nombreuses ; elles représentent 34,8 % des entreprises au Québec et 29,2 % des entreprises ailleurs au Canada (graphique 2.3). Le domaine de la santé vient en seconde place avec 31,5 % des entreprises recensées au Québec (25,4 % dans le reste du Canada).

Rappelons cependant que cette répartition selon le nombre d'entreprises ne traduit pas nécessairement l'importance économique des biotechnologies. À cet égard, il faut rappeler qu'au Québec comme au Canada et ailleurs dans le monde, c'est le domaine de la santé qui rassemble les plus importants investissements en R-D dans les biotechnologies (voir section sur la recherche) et celui où les produits commercialisés sont les plus nombreux.

Par ailleurs, c'est au chapitre des entreprises fournissant les appareils et autres équipements, de même qu'en ce qui regarde les entreprises de services, que le Québec se distingue de l'Ontario ; les entreprises de ces secteurs d'activité sont peu nombreuses au Québec (tableau 2.3). Par contre, le Québec compte un nombre d'entreprises utilisant les biotechnologies comme techniques de production (75 entreprises) qui équivaut sensiblement au nombre observé en Ontario (77 entreprises).

La problématique de la valorisation économique des biotechnologies est distincte selon les secteurs. Au-delà de la mesure du chemin parcouru par les usages industriels des biotechnologies, il est surtout important de réaliser le potentiel économique que représentent les biotechnologies et ce, selon chaque secteur d'activité. Celles-ci sont en fait particulièrement présentes dans des secteurs vitaux et essentiels de la santé et de l'agro-alimentaire et promettent des débouchés dans d'autres champs d'application à très grande

valeur économique dans l'avenir, tels l'environnement et la foresterie. Les sections suivantes donnent un aperçu de l'importance industrielle des biotechnologies par champ d'application.

Tableau 2.3 Entreprises recensées en biotechnologie selon la catégorie d'entreprise

	Entreprises utilisant les biotechnologies	Fournisseurs d'équipements	Entreprises de services-conseils	Total
Provinces de l'Atlantique	23	2	4	29
Québec	**75**	**9**	**8**	**92**
Ontario	77	43	23	153
Provinces des Prairies	27	8	3	38
Colombie-Britannique	62	1	11	74
Total	**264**	**63**	**49**	**376**

Source : Selon les données du *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*.

2.2 La santé

Le secteur de la santé humaine et animale représente, dans tous les pays, les plus importantes activités de R-D ainsi que le plus grand nombre de produits commercialisés. Malgré cela, les percées des biotechnologies sont toutes récentes et contrairement aux attentes d'il y a dix ans, les succès commerciaux sont encore relativement peu nombreux. Cependant, beaucoup de nouveaux produits sont, en 1990, au stade des essais cliniques. Les produits en développement et commercialisés se classent en produits thérapeutiques, qui représenteraient 71 % du marché mondial des produits biotechnologiques, en produits diagnostiques (22 % du marché) et en vaccins (7 % du marché).

Sur le plan mondial la compétition est féroce entre les grandes entreprises du domaine de la santé investissant dans les biotechnologies. À titre illustratif, les dépenses de R-D des entreprises américaines pharmaceutiques en biotechnologie sont estimées à un milliard de dollars en 1990, les cinq plus grandes entreprises dépensant à elles seules près de 300 millions de dollars. Le secteur pharmaceutique est dominé par de grandes entreprises multinationales américaines, telles que Monsanto ou Merck Frosst, ou européennes telles Hoffman-La Roche ltée, Ciba-Geigy Canada ltée et bien d'autres. Ces grandes entreprises pharmaceutiques investissent dans les petites entreprises en biotechnologie, surtout américaines, et certaines au Canada, lorsque ces dernières ont un produit nouveau suffisamment prometteur.

Selon Ernst & Young, les entreprises américaines des produits thérapeutiques et diagnostiques avaient des ventes de 2,9 milliards de dollars en 1990 ; mais ces entreprises estiment que leurs ventes seront 20 fois supérieures dans 5 ans (58 milliards de dollars US) et de 50 fois supérieures dans 10 ans (145 milliards de dollars US)[13]. En effet, aux États-

13. *Biotech 1991 : A Changing Environment*, Ernst & Young, 1990. Notons que ces estimations dépassent de loin celles effectuées par le SRI en 1987 pour l'ensemble des produits biotechnologiques (début de cette section). Ces estimations plus récentes révèlent la progression rapide des percées en biotechnologie.

Unis, bien que relativement peu de produits biotechnologiques soient considérés comme des succès commerciaux importants en 1990, plusieurs produits sont au stade des essais cliniques et seront mis en marché dans les prochaines années.

Il n'y a pas, malheureusement, de données sur les investissements et les ventes des entreprises en biotechnologie du domaine de la santé. On peut apprécier indirectement l'importance du secteur de la santé au Québec en se reportant aux données couvrant le secteur pharmaceutique, car les plus importantes entreprises actives en biotechnologie dans le domaine de la santé sont des entreprises pharmaceutiques. Cependant, les entreprises pharmaceutiques ne sont pas toutes actives en biotechnologie.

Le Québec rassemble près de la moitié de l'activité pharmaceutique canadienne; en particulier, le Québec rassemble 40,8 % de la valeur des expéditions canadiennes de produits pharmaceutiques et 43,3 % des dépenses de R-D du secteur pharmaceutique en 1989 (tableau 2.4). De l'ensemble des actifs des entreprises canadiennes du secteur pharmaceutique, environ 85 % appartiennent à des intérêts étrangers; si l'on fait exception des entreprises japonaises, la majorité des grandes entreprises multinationales du secteur pharmaceutique sont présentes au Canada. Des 30 plus importantes entreprises canadiennes, 27 sont des filiales de multinationales à propriété étrangère; ces 30 entreprises contrôlent environ 80 % des produits vendus au Canada et possèdent 80 % des actifs.

Pour l'ensemble du Canada les dépenses de R-D en biotechnologie des entreprises du domaine de la santé étaient estimées à environ 40 millions de dollars en 1987[14]; en comparaison des investissements en R-D des entreprises américaines, l'écart est de l'ordre de 25:1. Les entreprises canadiennes et québécoises étant de petite taille, elles n'ont pas les mêmes ressources financières et humaines que les entreprises américaines pour investir en R-D. (On n'a malheureusement pas d'estimation des dépenses de R-D des entreprises utilisant les biotechnologies.)

Tableau 2.4 Statistiques de l'industrie pharmaceutique et des médicaments, Québec et Canada

	Québec	Canada	Qué./Can.
Nombre d'entreprises, secteur pharmaceutique – 1989	54	134	40,3 %
Valeurs des expéditions du secteur – 1989 (M $)	1 400	3 400	40,8 %
Dépenses courantes de R-D du secteur – 1990 (M $)	126	266	43,3 %

Sources : *Survol du secteur pharmaceutique, données sur le Canada et le Québec*, et *Médicaments et produits pharmaceutiques*

Un aperçu des biotechnologies dans le domaine de la santé au Québec

Le secteur pharmaceutique au Québec est constitué, d'une part, par des entreprises filiales de multinationales (Merck Frosst Canada inc., le Groupe pharmaceutique Bristol-Myers Squibb, etc.) pour lesquelles les biotechnologies représentent une faible part de leurs

14. *La biotechnologie en Ontario : une croissance en toute sécurité*, Livre vert du gouvernement de l'Ontario, Toronto, 1989.

activités de recherche ; et, d'autre part, par de petites entreprises québécoises, qui, en général, consacrent toutes leurs activités au développement de nouveaux produits à l'aide des biotechnologies. En nombre et en matière d'efforts de recherche en biotechnologies, les petites et moyennes entreprises occupent une large part des activités de développement des biotechnologies. Ce fait n'est pas particulier au Québec, puisque la grande majorité des activités de recherche en biotechnologie au Canada et aux États-Unis est aussi l'oeuvre de jeunes et petites entreprises qui espèrent créer (ou mettre au point) de nouveaux produits.

Par ailleurs, le Québec a développé un créneau dans la mise au point de trousses diagnostiques et de vaccins pour la santé humaine et animale. Trois de nos plus importantes entreprises québécoises sont spécialisées dans ce domaine et commercialisent des produits.

Les biotechnologies dans le domaine de la santé

Dans le domaine thérapeutique les biotechnologies ont permis la mise au point d'une série de nouveaux médicaments, à base de protéines comme l'insuline humaine ; par ailleurs, les anticorps monoclonaux produits par les biotechnologies sont fréquemment utilisés pour des tests diagnostiques courants tant chez l'être humain que chez l'animal.

IAF Biochem International inc., fondée à partir de la Division des produits biologiques de l'Institut Armand-Frappier, se spécialise, entre autres, dans la recherche, le développement et la commercialisation de trousses diagnostiques.

IAF Biovac ltée, fondé à partir du groupe Exploitation inc. de l'Institut Armand-Frappier, se spécialise dans la commercialisation des vaccins humains, bactériens et viraux (diphtérie, coqueluche, tétanos, hépatite B, etc.) et le développement de nouveaux vaccins (polio, rougeole, influenza).

Selon le recensement de l'Association canadienne de l'industrie de la biotechnologie, environ la moitié des entreprises de biotechnologie du domaine de la santé (15 sur 29) sont de petite taille (moins de 50 personnes) (tableau 2.5). Par ailleurs, selon des données partielles d'une enquête du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie (15 entreprises recensées en biotechnologie dans le domaine de la santé, parmi les plus importantes entreprises), on dénombre près de 60 produits nouveaux en développement dans ces entreprises, dont 45 sont au stade d'essais cliniques. Ces entreprises commercialisent déjà près d'une quarantaine de produits. Les produits thérapeutiques mis au point sont en nombre sensiblement égal à celui des produits diagnostiques ; enfin, seulement deux entreprises s'intéressent au développement de vaccins (IAF Biovac inc. et Rougier inc.).

Le gouvernement du Québec a contribué financièrement à mettre en place Bio-Mega inc., IAF Biochem International inc. et, plus récemment, IAF Biovac inc., espérant ainsi se définir une niche dans le secteur pharmaceutique développant les biotechnologies (trousses diagnostiques, vaccins, etc.). Ces sociétés sont en fait devenues des entreprises québécoises florissantes et, dans le cas de Bio-Mega, le schéma d'évolution de ce type d'entreprise s'est vérifié : l'entreprise a été acquise par la multinationale Boehringer-Ingelheim (Canada ltée). Cela assure à Bio-Mega un financement de ses activités de recherche, tandis que la production et la mise en marché des produits sont assurées par l'entreprise mère.

Tableau 2.5 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de la santé) par taille et exemples de produits et procédés en 1991

Taille des entreprises (nombre d'employés)		Nombre	Exemples de produits et de procédés
Très grande	500 et plus	5	• Trousses diagnostiques pour les allergies, le cancer, le SIDA et d'autres maladies
Grande	200 à 499	–	• Vaccins bactériens et viraux comme le «Recombivax HB» contre l'hépatite B
Moyenne	50 à 199	9	
Petite	10 à 49	7	• Tests à base d'anticorps monoclonaux
Très petite	<10	8	• Colle biologique

Sources : *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*, *Répertoire de la biotechnologie industrielle canadienne 1988*, et enquête en cours du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec.

Constats

Une des contraintes propres aux entreprises du domaine de la santé concerne le financement de la R-D pour la mise au point d'un nouveau produit. Les coûts de la recherche et du développement de nouveaux produits sont plus élevés dans ce secteur que dans les autres, car les produits doivent être expérimentés cliniquement et extensivement pour recevoir l'approbation des organismes de contrôle.

L'étape initiale de R-D visant à caractériser un nouveau produit, bien qu'elle commande des investissements relativement importants pour l'entreprise (de l'ordre de 1 à 3 millions de dollars par année pour des périodes souvent au-delà de 5 ans), représente l'étape la moins coûteuse du développement d'un nouveau produit. Lorsqu'une entreprise dépasse le stade de la recherche et vise l'approbation commerciale, c'est-à-dire la recherche clinique conduisant à l'homologation de son produit, les coûts sont de l'ordre de 100 millions de dollars échelonnés sur une période de 3 à 5 ans pour les produits en santé humaine et de 2 à 4 ans pour les produits en santé animale.

Cette situation est attribuable, en particulier, à la réglementation exigeante qui régit les produits de la santé et aussi au fait que l'homologation est particulière à chaque pays où l'entreprise prévoit commercialiser son produit. Aucune entreprise québécoise ou canadienne n'a cette capacité financière de soutenir seule la phase d'essais cliniques et d'homologation. Le scénario, semble-t-il habituel, qui caractérise la PME de ce secteur est son extinction rapide par manque de fonds ou son achat par une entreprise multinationale lorsque celle-ci est sur une voie intéressante d'innovation — au Québec ce fut le cas récemment de Bio-Mega inc.

Ce qui distingue, en outre, les PME québécoises des PME américaines, c'est la difficulté qu'elles ont à obtenir du capital de risque pour leur permettre de poursuivre leurs activités de R-D et éventuellement atteindre le stade des essais cliniques. Il faut cependant mentionner que les incitatifs fiscaux et les autres formes d'aide aux activités de R-D au Québec sont très avantageux et constituent un appui extrêmement important.

Malgré cela, les besoins de capital de risque des entreprises de ce secteur sont plus importants qu'ailleurs et, sur le marché du capital de risque canadien, les entreprises en biotechnologie ne semblent pas aussi attrayantes pour les investisseurs que celles d'autres

secteurs. En effet, les retombées commerciales que l'on peut attendre des investissements dans une entreprise en biotechnologie sont de l'ordre d'une dizaine d'années ; c'est un délai très long pour la majorité des investisseurs qui veulent habituellement un retour d'investissement dans des délais plus courts. Pour remédier à ces difficultés de financement visant la mise au point de produits et la commercialisation, certaines entreprises québécoises développent des alliances de recherche, de production et de commercialisation avec d'autres entreprises et en particulier avec des sociétés multinationales.

Enfin, l'élément sans doute le moins favorable à l'industrie pharmaceutique et biotechnologique au Canada est la relative discordance de certaines réglementations canadiennes en comparaison des normes internationales (voir la section sur la réglementation).

2.3 L'agro-alimentaire

Aux fins de la présente analyse, le secteur agro-alimentaire englobe à la fois la production — animale et végétale — ainsi que la transformation des aliments. Le champ d'application des biotechnologies dans le secteur agro-alimentaire est vaste ; il couvre la reproduction, la sélection et la croissance des animaux, la sélection et la croissance des végétaux, l'horticulture, les fertilisants, l'aquiculture, les techniques de transformation des aliments ainsi que la valorisation des résidus de la production et de la transformation. C'est aussi un champ où existent depuis fort longtemps des biotechnologies de type «traditionnel», telles que les procédés de fermentation à base de levures, de moisissures ou de bactéries, et où les biotechnologies modernes sont cependant appelées à apporter de profonds changements.

Il est bien connu que les biotechnologies n'ont pas la même importance actuellement dans le secteur agro-alimentaire que dans le secteur de la santé. La recherche de nouvelles techniques biotechnologiques est moins intensive et la diffusion de ces techniques sera probablement plus lente dans le secteur de la production et de la transformation agro-alimentaire. Les raisons tiennent en bonne partie à des caractéristiques particulières du secteur agro-alimentaire que l'on retrouve dans tous les pays.

Rappelons à cet égard que, bon an mal an, 80 % des nouveaux produits alimentaires introduits dans les supermarchés américains doivent être retirés après six mois, et on estime que les pertes subies par l'industrie se chiffrent entre 15 et 20 millions de dollars par année. Dans ce contexte, la marge de profit reste relativement petite dans le secteur (autour de 3 à 3,5 %). Si l'on ajoute que l'industrie est extrêmement sensible aux fluctuations du coût des matières premières, on peut comprendre que les entreprises sont peut-être moins portées que celles d'autres secteurs à assumer les risques du développement technologique[15].

Cependant, une des principales conclusions que tire un rapport récent du Comité de la politique scientifique et technologique de l'OCDE est qu'un des effets directs principaux des biotechnologies agricoles pourrait être l'accroissement de la productivité par la

15. Ainsi que le notent Jacques Goulet et Stephen J. Davids dans leur étude sur *L'évolution des connaissances de la biotechnologie dans le secteur* *voir p. 176 agro-alimentaire*, *réalisée pour le compte du Conseil de la science et de la technologie.*

diminution du coût par unité de production, ce qui, au moins en principe, pourrait signifier moins d'intrants chimiques, moins d'investissements et moins de main-d'oeuvre pour le même rendement[16].

Les biotechnologies en agro-alimentaire

Les biotechnologies dans le domaine agro-alimentaire sont dans le champ et dans l'usine. La micropropagation ou culture in vitro permet par exemple de copier un plant de fraisier génétiquement amélioré pour pousser plus rapidement et mieux résister au froid. Les biofertilisants promettent d'être plus efficaces et surtout écologiques. Enfin, au stade de la transformation, les procédés de fermentation seront révolutionnés par des levures plus performantes, les techniques d'utilisation de ces levures permettent déjà de réduire les coûts de production en améliorant l'efficacité des procédés et le contrôle de la qualité.

Lallemand inc. se spécialise dans la production de levures destinées aux marchés de la boulangerie, de la vinification, de la distillerie et de la brasserie. Lallemand s'est imposé avec la mise au point d'une quinzaine de souches de levure de vin destinées à l'exportation. L'utilisation de cellules immobilisées comme biocatalyseurs permet l'amélioration des souches de levure et du procédé de fermentation d'une « des plus vieilles biotechnologies du monde ».

Aquaterre inc. commercialise un biofertilisant liquide fabriqué à partir d'algues. Semences Prograin inc. produit des semences améliorées par manipulation génétique.

La situation internationale

L'agro-alimentaire est le deuxième secteur en importance quant aux applications industrielles des biotechnologies. Le marché mondial des produits issus des nouvelles biotechnologies dans ce secteur était estimé à 1,7 milliard de dollars (US) en 1985. Le marché devrait atteindre 5,8 milliards de dollars en 1995 et 14 milliards en l'an 2000[17].

Les États-Unis, l'Europe et le Japon constituent les principaux pôles de l'utilisation des biotechnologies dans le secteur agro-alimentaire, comme dans bien d'autres secteurs. Aux États-Unis, les petites entreprises ont réussi à se tailler une place dans la commercialisation de produits innovateurs issus des biotechnologies, à côté des grands groupes bien établis. Le Japon est maintenant considéré comme le principal concurrent mondial des États-Unis dans les applications commerciales des biotechnologies. Les entreprises japonaises ont une longue tradition dans les techniques de fermentation et la plupart des firmes qui s'intéressent aux biotechnologies ont une assise financière solide. En Europe, quatre pays viennent en tête dans l'application des biotechnologies au secteur agro-alimentaire : le Royaume-Uni en tout premier lieu, le Danemark, la France et l'Allemagne.

On peut obtenir une idée de la composition de certains créneaux du marché des biotechnologies dans le domaine agro-alimentaire. En ce qui concerne le secteur de la production agricole, quelques statistiques du marché américain donnent un aperçu de l'importance qu'auront dans les prochaines années les biotechnologies.

16. Comité de la politique scientifique et technologique, *Biotechnologie, agriculture et alimentation*, rapport provisoire, 1991.
17. Legault, Grysole et Associés, *op. cit.*, d'après SRI, *The World Biotech*, 1987.

Tableau 2.6 Composition du marché des biotechnologies dans la production agricole aux États-Unis, 1990 et 1995 (estimations)

	1990		1995	
	000 000 $	Part du marché	000 000 $	Part du marché
Nutrition animale	95	0,5 %	190	0,9 %
Semences	53	1,0 %	650	10,0 %
Protection des cultures	45	0,7 %	160	2,4 %
Traitement des sols	40	0,4 %	200	4,2 %

Source : *Les biotechnologies dans le monde*, étude réalisée par Legault, Grysole et Associés inc., 1989 (d'après Arthur D. Little, Biotechnology : Issues and Strategies for Commercialization, 1986).

Les biotechnologies appliquées à l'amélioration des semences seraient un marché en pleine croissance aux États-Unis, passant de 53 millions de dollars en 1990 à plus de 650 millions de dollars en 1995. On estime que ce marché y connaîtra une croissance décuplée au cours des cinq prochaines années et qu'il représentera 10 % du marché des semences d'ici à 1995.

La situation au Québec

Au Québec, comme dans la plupart des pays, l'agro-alimentaire est parmi les secteurs économiques les plus importants, production et transformation confondues. En 1990, le secteur agro-alimentaire du Québec est très diversifié et caractérisé par une intégration verticale et horizontale. Il soutient 350 000 personnes de façon permanente, soit près de 12 % de l'emploi total. L'ensemble des ventes au détail, incluant la restauration et l'exportation, se chiffrait à près de 17 milliards de dollars. La valeur des exportations internationales de produits alimentaires québécois totalisait plus d'un milliard et celle des expéditions de produits alimentaires vers les autres provinces du Canada était de l'ordre de 2 milliards[18].

La structure économique est très diversifiée dans le domaine de l'agro-alimentaire. La production agricole et l'élevage sont le fait d'une multitude de PME, essentiellement des propriétaires dirigeants de fermes, regroupés en syndicats de producteurs et en coopératives fédérées. Une telle structure de production, fortement représentée par une multiplicité de petits propriétaires dirigeants, peut être qualifiée de traditionnelle. Elle s'appuie aussi, dans une très large mesure, sur les services de recherche gouvernementaux pour améliorer sa productivité.

L'agro-alimentaire est un secteur économique où la collaboration entre les services gouvernementaux et le secteur privé est, depuis longtemps, extrêmement poussée et articulée.

Ce sont les laboratoires gouvernementaux du Québec et du Canada qui investissent le plus dans la recherche – développement nécessaire pour améliorer l'efficacité et le rendement de la production agro-alimentaire. Ces organismes développent, par exemple, en concertation avec le milieu universitaire, de nouvelles variétés végétales, effectuent la

18. MAPAQ, *L'industrie bio-alimentaire au Québec : Bilan 1990 et perspectives*, février 1991.

recherche sur les biopesticides ainsi que sur les techniques d'amélioration génétique des animaux. L'expertise canadienne et québécoise dans différents domaines, tels les variétés fourragères et céréalières plus résistantes sous nos climats, les techniques d'insémination artificielle, le clonage d'embryons, l'usage de biofertilisants, est reconnue mondialement.

Les biotechnologies sont encore plus présentes dans les entreprises de transformation alimentaire ; il s'agit de biotechnologies traditionnelles surtout, basées sur les fermentations — production de la bière, des fromages et yaourts, etc. Mais les biotechnologies modernes sont appelées à modifier profondément la productivité des technologies traditionnelles en améliorant les processus de fermentation.

Au Québec, une trentaine d'entreprises de transformation agro-alimentaire, tous domaines confondus, sont actives en biotechnologies. Le secteur de la transformation est passablement morcelé, les grandes entreprises y étant relativement importantes, mais aussi peu nombreuses (tableau 2.7). Quelques grandes entreprises, telles Agropur ou Natrel, sont importantes sur le plan commercial et sont actives en biotechnologie ; mais les biotechnologies représentent une faible part des leurs activités de recherche ou de mise au point de procédés. Il y a, par ailleurs, plusieurs PME qui exploitent un créneau très spécialisé et tentent de mettre en marché un nouveau procédé ou produit. Les produits et procédés expérimentés sont très variés, mais peu d'entreprises déclarent des revenus substantiels de produits ou procédés biotechnologiques nouveaux[19].

Tableau 2.7 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de l'agro-alimentaire) par taille et exemples de produits et procédés en 1991

Taille des entreprises (nombre d'employés)		Nombre	Exemples de produits et de procédés
Très grande	500 et plus	2	• Produits et procédés de fermentations : boissons alcooliques, fromages et yaourts
Grande	200 à 499	4	• Production de micro-organismes plus performants : bactéries, levures, moisissures
Moyenne	50 à 199	7	• Résidus de l'industrie alimentaire (lactosérum)
			• Biofertilisants à base de résidus organiques fermentés (ex. : compost)
Petite	10 à 49	9	• Procédés de biofiltration en aquiculture
Très petite	<10	7	• Hormones de croissance bovine par recombinaison génétique
			• Amélioration génétique de graines céréalières (soya, orge)
			• Nouvelles espèces horticoles

Sources : *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*, *Répertoire de la biotechnologie industrielle canadienne 1988*, et enquête en cours du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec.

19 Selon les informations contenues dans les questionnaires de l'enquête du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec.

Constats

Bien que les laboratoires de recherche gouvernementaux en agriculture et en alimentation soient très importants au Québec et que certains d'entre eux puissent être considérés comme étant de calibre international et bien que les universités québécoises aient aussi développé des connaissances dans le domaine, il n'apparaît pas évident que les procédés biotechnologiques et les nouveaux produits mis au point dans ces lieux de recherche soient pleinement valorisés et transférés vers l'entreprise privée.

En ce qui concerne l'industrie de la transformation, on note au Québec, comme dans l'ensemble du Canada, une certaine carence en recherche et en innovation technologique. Sur le plan international, l'industrie de la transformation alimentaire est un peu à l'image de l'industrie pharmaceutique. Les grandes entreprises multinationales occupent une large part du marché et elles paient les coûts élevés de la recherche et de la mise en marché de nouveaux produits. Par contre, ces grandes entreprises sont relativement peu présentes au Québec. L'industrie de transformation agro-alimentaire y est plutôt morcelée. Les grandes entreprises, de nature coopérative souvent, sont surtout performantes sur le plan de la distribution.

Les grandes entreprises québécoises identifiées aux biotechnologies en agro-alimentaire sont en outre relativement petites en comparaison de ces multinationales et peu actives en recherche. Cependant, il est possible qu'elles puissent éventuellement rassembler suffisamment de savoir-faire pour assurer une certaine forme de veille technologique et atteindre l'expertise suffisante pour acquérir et implanter les nouvelles technologies.

La structure industrielle dans le secteur de la production et de la transformation alimentaire est cependant encore dominée par la présence de petits propriétaires dirigeants regroupés par type de produits au sein d'associations syndicales et coopératives. Ce sont des structures très morcelées qui ont permis de tisser, dans le temps, des liens étroits entre les divers intervenants de ce secteur économique. Mais ces formes d'organisation semblent laisser peu de place à l'investissement dans la recherche et à l'innovation technologique, même lorsque les forces du marché ont amené une intégration verticale, comme dans la transformation du lait ou encore dans certains secteurs de l'élevage. De plus, les milieux agricoles sont, pour diverses raisons, moins incités à innover et la pénétration de nouvelles technologies dépend souvent de la formation des gestionnaires d'entreprises agricoles.

Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) contribue déjà grandement à l'effort d'innovation, par divers moyens de stimulation et de soutien. S'il est vrai que dans le processus de la définition et de l'orientation des activités de recherche, le système de concertation, par l'entremise des multiples organismes consultatifs du ministère, favorise l'expression des besoins des milieux selon une démocratie exemplaire, il se peut qu'une telle approche par la base culmine dans des préoccupations très conservatrices. L'innovation exige une ouverture sur ce qui se passe ailleurs et une connaissance des activités de recherche de pointe; bref un mécanisme de veille technologique, que le ministère possède, mais qui n'a peut-être pas la possibilité de s'exprimer.

Enfin, les petites entreprises innovatrices rencontrent bien souvent des difficultés de financement. Ce problème de l'accès à du capital de risque à certaines étapes cruciales de leur développement paraît d'ailleurs affecter les entreprises du secteur à la grandeur du Canada[20].

2.4 La foresterie

La foresterie regroupe deux sous-secteurs d'activité économique : l'exploitation forestière et la transformation des produits du bois — pâtes et papiers et bois ouvré, etc. Les biotechnologies offrent des possibilités intéressantes d'accroître les rendements de l'exploitation forestière. On a tendance à les associer surtout aux procédés de régénération des forêts et de protection contre les insectes ; pourtant, les biotechnologies fournissent également des procédés utiles à la transformation des pâtes et papiers et elles peuvent contribuer à la valorisation des résidus du bois.

L'utilisation des nouvelles biotechnologies dans le secteur forestier en est encore à ses débuts dans le monde comme au Canada et au Québec. Le développement des biotechnologies dans ce secteur est surtout le fait du Japon, des pays scandinaves, des Pays-Bas, des États-Unis et du Canada.

Un phénomène important à souligner, cependant, est l'augmentation de la concurrence venant de pays tels que la Suède, les États-Unis, l'ex-URSS, la Nouvelle-Zélande, l'Australie et le Brésil. Doit être mentionnée également l'apparition de nouvelles barrières commerciales en Europe et aux États-Unis, qui entraîne un durcissement des marchés dans le secteur.

Les biotechnologies dans le domaine de la foresterie

L'industrie forestière peut bénéficier grandement des biotechnologies, utiles à la fois pour l'amélioration et pour la protection des espèces végétales et comme technologies complémentaires dans la transformation du bois en pâtes et papiers.

À l'Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers (Paprican), situé dans la région de Montréal, la découverte d'un champignon, Trametes versicolor, a permis le blanchissement de la pâte kraft obtenue à partir de bois dur.

Panpev inc. produit des plants pour le reboisement des forêts où la technique de mycorhization est utilisée pour accroître la capacité de la plante à absorber les éléments nutritifs du sol.

De nombreux pays disposent de programmes d'amélioration des arbres plus poussés qu'au Canada et qu'au Québec. Aux États-Unis, par exemple, des programmes d'amélioration des arbres ont été mis en place depuis 25 ans dans la plupart des régions par les sociétés privées, qui possèdent la plus grande partie des terrains destinés à la production de bois d'œuvre. Pendant au moins une génération, pratiquement tout le stock de reboisement planté dans des terrains privés a fait l'objet d'une amélioration génétique. Au Brésil, un programme d'amélioration des arbres a été mis en œuvre depuis une dizaine

[20] Ainsi que le notent les auteurs du rapport *National Business Strategy for Biotechnology*, préparé pour le Comité consultatif national des biotechnologies par la firme Peat, Marwick, Stevenson et Kellogg, Ottawa, 1990.

d'années et tous les programmes de reboisements commerciaux utilisent actuellement du matériel clonal. En Suède, un programme d'amélioration génétique des arbres, mis en place il y a plus de quinze ans, connaît un grand succès.

La situation au Québec

L'industrie forestière au Québec doit son importance aux activités de transformation, principalement dans le secteur des pâtes et papiers et du bois d'œuvre. L'industrie des pâtes et papiers représente encore le principal moteur dans le développement des biotechnologies appliquées au domaine forestier, et il est vraisemblable qu'il en sera ainsi dans les décennies à venir si les entreprises réussissent à surmonter les difficultés qu'elles éprouvent actuellement.

La foresterie représente une activité économique de près de 34 milliards de dollars au Canada et de plus de 10 milliards de dollars au Québec (tableau 2.8). Le domaine forestier québécois a une superficie exploitable d'environ 734 000 km^2, dont plus de 90 % est détenu par le gouvernement provincial[21].

L'industrie de l'exploitation forestière est caractérisée par deux catégories d'utilisateurs : les grandes entreprises papetières et une multitude de petits exploitants regroupés dans des syndicats ou des coopératives. Les grandes entreprises papetières achètent des droits de coupe et effectuent près de 88 % de l'exploitation forestière du domaine public. Le reste de la tâche est assumé par les petits exploitants.

Constats

Le Canada a acquis une forte expertise dans l'utilisation des biotechnologies pour produire par clonage des forêts améliorées (embryogenèse somatique). Les techniques sont éprouvées et sont mêmes utilisées ailleurs. Cependant, deux facteurs limitent l'utilisation de ces technologies : **1)** le gouvernement canadien n'a pas de législation réglementant l'utilisation d'espèces végétales modifiées génétiquement et, **2)** la motivation des exploitants forestiers à utiliser de telles espèces, possiblement plus coûteuses, reste faible car le rendement escompté des investissements est à trop long terme.

Depuis 1984, le gouvernement du Québec a adopté une politique de reboisement visant à accroître de façon substantielle le reboisement des forêts. Les regroupements associatifs produisent des plants et reboisent les forêts qu'ils exploitent ainsi qu'une partie de celles qui sont exploitées par les papetières. En 1988, les travaux d'aménagement et de reboisement représentent plus de 14 millions de dollars.

21. Terrains forestiers productifs accessibles pour l'ensemble des régions administratives du Québec, selon *Ressource et industrie forestière, Portrait statistique, édition 1990*, ministère des Forêts, 1991.

Tableau 2.8 Valeur des expéditions de l'exploitation forestière ainsi que des pâtes et papiers, 1988

	Québec	Canada
	milliards de dollars	
Exploitation forestière	1.5	8.0
Pâtes et papiers	8.1	25.6
Total	**9.6**	**33.6**

Note : Données estimées[22]

Source : *Recueil de statistiques forestières canadiennes, 1990*, Forêts Canada, 1990.

Pour sa part, l'industrie des pâtes et papiers est le plus important secteur de l'activité manufacturière au Canada en ce qui regarde les emplois, les revenus, les investissements et les exportations. En 1987, sur 143 usines en activité, 57 étaient situées au Québec. C'est également au Québec que l'on trouve la plus grande concentration de centres de recherche spécialisés dans le domaine des pâtes et papiers : notamment l'Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers (Paprican), Domtar, Consolidated Bathurst, l'Université McGill et l'Université du Québec à Trois-Rivières[23].

Malgré cela, comme le montre le tableau 2.9, le nombre d'entreprises du domaine de la foresterie actives en biotechnologie reste très modeste, comparativement à celui d'autres secteurs. On observe également qu'il n'y a pas de concentration de ces entreprises en fonction de la taille.

Le secteur de la foresterie au Québec est d'une grande importance économique et contribue pour beaucoup aux exportations. Contrairement à bien d'autres pays, la forêt québécoise exploitée à des fins industrielles est la propriété du gouvernement provincial. Le rôle de ce gouvernement dans la modernisation du secteur forestier est donc crucial.

Ce secteur est cependant en difficulté depuis quelques années, en grande partie à cause du manque d'adaptation technologique des entreprises et du peu d'efforts qui ont été consentis pour améliorer les forêts. La concurrence étrangère, qui poursuit depuis longtemps son effort de modernisation, est de ce fait de plus en plus menaçante.

Dans les secteurs autres que les pâtes et papiers, l'expertise du Québec se situe principalement dans l'amélioration génétique des espèces, notamment en horticulture ornementale, ainsi que dans la mise au point de biopesticides et de biofertilisants. Au Québec, pour traiter les peuplements forestiers attaqués par les insectes, ce sont les pesticides biologiques qui doivent être normalement utilisés. Cependant, les produits développés jusqu'à maintenant n'ont pas connu de succès commerciaux malgré certaines tentatives. Néanmoins, dans ce domaine d'une très grande utilité pour préserver nos forêts contre les épidémies d'insectes et pour favoriser la croissance des jeunes pousses, le Québec a acquis une expertise intéressante.

22. Cette estimation ne tient pas compte de la valeur des expéditions de l'industrie du bois, c'est-à-dire le bois de sciage et les autres produits de la transformation du bois.
23. Legault, Grysole et Associés.

Tableau 2.9 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de la foresterie) par taille et exemples de produits commercialisés et en développement en 1991

Taille des entreprises (nombre d'employés)		Nombre	Exemples de produits et de procédés
Très grande	500 et plus	1	• Biocapteurs utilisés dans le traitement des effluents des usines de pâtes et papiers
Grande	200 à 499	1	• Blanchiment de la pâte kraft à l'aide d'un champignon, «Trametes versicolor»
Moyenne	50 à 199	1	• Sélection de nouvelles espèces par clonage
			• Multiplication des plants *in vitro* (ex. : épinette noire)
Petite	10 à 49	1	• Fermentation des sucres de pentoses
Très petite	(<10)	2	• Plants transgéniques
			• Mycorhization de plants

Sources : *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*, *Répertoire de la biotechnologie industrielle canadienne 1988*, et enquête en cours du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec.

2.5 L'environnement

Le domaine de l'environnement est différent des autres champs d'application des biotechnologies, car il ne s'agit pas d'un secteur industriel bien structuré et facilement repérable, par exemple dans les statistiques habituelles. Mais, bien qu'il soit difficile de produire des données sur l'importance économique des activités visant à préserver l'environnement, il est par contre facile d'imaginer que ce champ d'application est d'une très grande importance et que de fortes sommes sont consacrées par les entreprises et les pouvoirs publics pour préserver et assainir notre environnement.

Les deux champs d'application où les biotechnologies offrent le plus de possibilités sont ceux de l'assainissement des eaux et des sols ainsi que la valorisation des résidus (biomasse agricole, forestière, résidus miniers, etc.). L'assainissement de l'environnement représente un vaste secteur économique où les dépenses sont en progression constante.

Les biotechnologies et l'environnement

Les biotechnologies sont complémentaires aux techniques physico-chimiques utilisées, entre autres, pour l'assainissement des eaux et des sols.

Le Groupe SNC-Lavalin met au point un bioréacteur pour traiter les rejets de l'industrie alimentaire. La firme John Meunier contribue au développement d'un bioréacteur pour le traitement des effluents des usines de pâtes et papiers.

D'autres travaux sont effectués (tels ceux de l'entreprise RecBiomine inc.) afin d'expérimenter les techniques de biolixiviation des métaux au traitement des sols contaminés par les résidus miniers. Hydro-Québec contribue à l'expérimentation de procédés de biodégradation du pentachlorophénol (PCP) dans les rebuts de bois.

Au stade actuel des connaissances, les biotechnologies sont considérées comme complémentaires aux technologies traditionnelles dans le traitement des eaux et des sols contaminés. En effet, elles ne s'appliquent pas à tous les types de contaminants, elles sont récentes et sont, pour la plupart, au stade de l'expérimentation et de la mise à l'échelle. Mais leur intérêt vient du fait qu'elles sont plus efficaces lorsqu'elles sont adéquatement utilisées ; elles consomment moins d'énergie, peuvent répondre à un spectre plus large de contaminants et sont aussi moins dommageables, en comparaison des techniques physico-chimiques.

Dans la grande majorité des cas, les biotechnologies de l'assainissement des eaux et, encore plus, des sols sont des technologies expérimentales. Leur efficacité est démontrée en laboratoire, où les conditions d'expérimentation sont strictement contrôlées ; mais elles doivent être expérimentées *in situ*, c'est-à-dire faire l'objet d'une expérimentation sur le terrain.

La situation internationale

Les préoccupations environnementales dans le monde amènent plusieurs pays à considérer les biotechnologies comme solution complémentaire, sinon de rechange, aux pratiques de production traditionnelles plus polluantes. De nombreux pays, dont les États-Unis, le Japon, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suisse, envisagent ainsi de substituer ou de remplacer en partie les combustibles fossiles par la conversion de la biomasse. Plusieurs pays cherchent dans les biotechnologies des solutions au traitement des déchets toxiques.

Par ailleurs, les biotechnologies permettront de concevoir de nouveaux outils ou de nouvelles méthodes pour protéger l'environnement, notamment au moyen de biocapteurs et de trousses diagnostiques, ainsi que de nouveaux moyens de traiter les eaux usées, de valoriser des résidus.

Pour donner un ordre de grandeur des dépenses d'une partie de ce champ d'application, mentionnons qu'aux États-Unis les dépenses liées à l'assainissement des eaux et des sols étaient de l'ordre de 51 milliards de dollars (1988). Elles étaient de 5 milliards de dollars en 1989 au Canada, tandis qu'elles sont estimées à 1,1 milliard de dollars au Québec (1987) (tableau 2.10).

Tableau 2.10 Estimation des dépenses liées à l'assainissement des eaux et des sols par le secteur public et privé, Québec, Canada, États-Unis

	Québec (1987)	Canada (1988)	USA (1988)
		milliards de dollars	
Dépenses publiques	1.0	3.5	31
Dépenses du secteur privé	0.1	1.5	20
Total	**1,1**	**5,0**	**51**

Sources : *Strategic Industry Analysis : Biotechnology in the Waste Treatment Industry*, préparé pour Industrie, Science et Technologie Canada par SECOR INC., 1989. *L'environnement au Québec, un premier bilan synthèse*, ministère de l'Environnement du Québec, 1988.

La part du marché de l'assainissement des eaux occupée par les biotechnologies aux États-Unis serait d'environ 35 % pour le traitement de l'eau potable par les municipalités et d'environ 12 % pour le traitement des effluents industriels ; les biotechnologies pour le traitement des sols contaminés ne représenteraient que 7 % des dépenses.

La situation du Québec

On ne possède pas de données précises sur la part respective des marchés privés et publics au Québec dans le domaine de l'environnement. Si l'on se fie aux données du tableau précédent concernant le Québec, les dépenses d'assainissement seraient à plus de 90 % effectuées par le secteur public. Cette proportion élevée des dépenses publiques comparativement au privé s'expliquerait, d'une part, par le fait que le Québec est, plus tardivement qu'ailleurs, à développer ses infrastructures d'assainissement des eaux dans les municipalités. Et, d'autre part, par le fait la réglementation sur les rejets des activités de transformation serait beaucoup moins sévère au Québec et au Canada qu'aux États-Unis.

Les principaux intervenants intéressés aux biotechnologies appliquées à l'environnement sont :

- les pouvoirs publics, en particulier les municipalités qui gèrent les systèmes d'épuration des eaux et de traitement des déchets domestiques,
- les industries polluantes qui doivent réduire leur pollution à la source et qui sont de ce fait des entreprises actives dans la recherche de solutions à leurs rejets toxiques,
- les firmes d'ingénierie-conseil et diverses entreprises qui offrent des services d'ingénierie de procédés ainsi que des services de gestion de décontamination.

On dénombrerait en 1990, selon l'Association canadienne de l'industrie de la biotechnologie, 16 entreprises québécoises identifiées aux biotechnologiques dans le domaine de l'environnement comparativement à 62 dans l'ensemble du Canada. La majorité des entreprises identifiées à ce champ d'application sont des entreprises de génie-conseil travaillant dans le domaine de l'assainissement des eaux ; il y a cependant quelques entreprises qui offrent des produits utilisant des caractéristiques des biotechnologies, tels, par exemple, les biofiltres.

La moitié des entreprises recensées sont de taille modeste (plusieurs ont moins de 10 employés ; voir tableau 2.11) ; plusieurs sont au stade du démarrage. Ces entreprises consacrent toutes leurs activités au développement d'un produit ou d'un procédé biotechnologique. Environ 20 % de leurs employés étaient associés aux applications des biotechnologies.

Constats

Les biotechnologies appliquées à l'assainissement de l'environnement sont encore très peu développées au Canada et au Québec. Les technologies, comme nous l'avons mentionné, sont encore au stade expérimental ou à celui de la mise à l'échelle des procédés.

Tableau 2.11 Nombre d'entreprises en biotechnologie (domaine de l'environnement) par taille et exemples de produits et procédés en 1991

Taille des entreprises (nombre d'employés)		Nombre	Exemples de produits et de procédés
Très grande	500 et plus	4	• Biodégradation des hydrocarbures (BPC, PCP...)
Grande	200 à 499	2	• Bioréacteur anaérobique pour les effluents organiques de l'industrie alimentaire
Moyenne	50 à 199	2	• Filtre biologique aérobique pour la décontamination des sols et des eaux de surface
			• Biopesticides, biofertilisants
Petite	10 à 49	2	• Trousses diagnostiques pour produits toxiques
Très petite	<10	6	• Biolixiviation bactérienne endogène des métaux

Sources : *Canadian Biotechnology Directory 1990-1991*, *Répertoire de la biotechnologie industrielle canadienne 1988*, et enquête en cours du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie du Québec.

Les intervenants dans le domaine environnemental nous ont signalé tout particulièrement les difficultés d'obtenir du financement pour l'étape intermédiaire d'expérimentation des biotechnologies, c'est-à-dire la mise à l'échelle industrielle des procédés qui fonctionnent en laboratoire. D'une part, les programmes gouvernementaux ne sont pas appropriés aux besoins de financement des entreprises, car ils exigent une participation de l'entreprise qu'elle ne peut généralement pas assumer. D'autre part, les entreprises et en particulier les entreprises d'ingénierie-conseil ne sont pas incitées à investir, car le marché pour les biotechnologies environnementales n'est pas encouragé par la réglementation ni même par le pouvoir d'achat public.

À cet égard, il faut mentionner le rôle important que peuvent jouer les pouvoirs publics pour le développement des biotechnologies appliquées à des activités d'assainissement. En effet, les pouvoirs publics assurent au Québec et au Canada les services d'approvisionnement en eau potable ; ils contrôlent par le fait même les technologies utilisées dans les usines de filtration des eaux ainsi que celles utilisées dans le traitement des eaux usées. Les biotechnologies, comme nous l'avons mentionné, sont des technologies complémentaires qui permettent d'améliorer la qualité des eaux et elles sont aussi plus efficaces comme techniques d'assainissement ; mais ces technologies doivent être expérimentées dans les conditions climatiques québécoises et leur utilisation pourrait être de ce fait plus coûteuse.

Cependant, la volonté d'expérimenter ces technologies relève des municipalités et celles-ci n'ont pas la réputation d'être à l'avant-garde dans l'utilisation des nouvelles technologies ; elles sont préoccupées d'abord par la réduction des coûts d'exploitation des usines. Dans un avis du Conseil sur *Le marché public et le développement technologique au Québec*, publié en 1989, on constatait que les municipalités se procuraient généralement des technologies standard, à la fois par prudence, s'en remettant aux technologies déjà éprouvées, et par économie, puisqu'elles sont généralement soumises à la politique du plus bas prix pour l'acquisition d'équipements ainsi que le fonctionnement de ces équipements. Les normes de qualité dans le traitement des eaux se sont aussi ajustées aux technologies que l'on implantait, technologies éprouvées en Europe.

De l'avis des intervenants dans ce secteur, l'utilisation de biotechnologies comme techniques complémentaires s'impose lorsque l'on veut atteindre des normes de qualité supérieures à celles que permettent les technologies chimiques traditionnelles ; mais au

Québec, la réglementation à cet effet vise essentiellement à s'ajuster aux capacités de traitement des usines ; les choix technologiques effectués dicteraient donc nos normes de qualité plutôt que l'inverse.

Dans tout ce processus d'équipement en infrastructures qui a coûté jusqu'à maintenant plus de 6 milliards de dollars, coûts pris en charge à 90 % par le gouvernement du Québec, l'adaptation et l'innovation technologiques dans les techniques d'assainissement des eaux n'ont pas été une préoccupation. Il s'ensuit que le Québec n'a pas beaucoup d'expertise de recherche dans les techniques d'assainissement des eaux dans nos conditions climatiques ; une des conséquences de cela est que nos usines d'épuration ne fonctionnent pas à leur rendement optimal, faute de personnel qualifié. Ce mode de gestion où les décisions n'obéissent qu'à la règle de la moindre dépense budgétaire ne favorise pas l'investissement dans la recherche et l'amélioration des procédés.

Quant aux polluants créés par les activités de production et de transformation, le seul incitatif à leur diminution, c'est-à-dire à la recherche de techniques de production moins polluantes et aux traitements à la source des rejets, est la réglementation appuyée par un système de tarification des rejets polluants. Le Québec et le Canada sont en retard en comparaison de la plupart des autres pays, y compris les États-Unis, en ce qui concerne les normes de protection environnementale.

Loin de favoriser le développement industriel, cette attitude protectionniste, à l'image de toutes les autres formes de protection, affaiblit la compétitivité de nos industries. Rappelons que la réglementation visant la protection environnementale a suscité, dans tous les pays où ces normes sont sévères, des innovations technologiques dans les procédés de fabrication ainsi que dans les techniques de traitement des déchets que les pays exportent par la suite. La réglementation, qu'elle soit environnementale ou qu'elle vise de hauts standards de qualité des produits, est un instrument qui favorise le développement technologique et la compétitivité industrielle.

2.6 Conclusion

Les biotechnologies auront sans doute un impact considérable dans un grand nombre de domaines et d'industries, au Québec comme dans l'ensemble des pays industrialisés. Cet impact sera différent selon les domaines, notamment en fonction des forces et faiblesses des principaux intervenants. Le présent chapitre a permis de voir quelles sont au Québec ces forces et ces faiblesses dans les principaux secteurs d'application.

Les entreprises en biotechnologies actives dans le secteur de la santé humaine et animale sont relativement nombreuses au Québec ; c'est le domaine où les biotechnologies offrent le plus de promesses et le Québec possède de fait une infrastructure industrielle non négligeable, constituée d'un tissu d'entreprises innovatrices rassemblant une concentration de chercheurs, d'une expertise originale dans les domaines des produits diagnostiques et des vaccins et d'un réseau de chercheurs de haut calibre dans les milieux universitaires et hospitaliers ainsi que des infrastructures permettant la mise à l'échelle de production (voir la section sur la recherche).

Le secteur de la santé humaine et animale devrait faire l'objet d'une préoccupation particulière étant donné les ressources humaines, matérielles et financières existantes au Québec, tant dans les universités que dans les organismes gouvernementaux. La concertation de ces milieux est essentielle, afin qu'ils puissent définir les niches (trousses diagnosti-

ques, vaccins, probiotiques) susceptibles d'assurer le développement de ce secteur en synergie avec le secteur de l'agro-alimentaire.

Pour assurer la viabilité de ce secteur d'activité, la recherche-développement est importante, de même que le développement des compétences de nos chercheurs actuels et futurs, car c'est par cette voie qu'on peut attirer au Québec les investissements importants de grandes entreprises. La viabilité des entreprises dans le domaine de la santé passe aussi par le développement d'alliances stratégiques de recherche et de commercialisation avec les grandes entreprises.

Les biotechnologies sont appelées à modifier profondément, sinon à révolutionner le domaine **agro-alimentaire**, soit les productions agricoles, l'élevage et les techniques de transformation des aliments. Les technologies évoluent rapidement et les économies qui seront les plus aptes à adopter rapidement les nouvelles techniques et à diversifier leurs produits par les innovations biotechnologiques vont nécessairement s'accaparer une large part des marchés internationaux. Pour demeurer compétitif, le Québec doit s'assurer que les nouvelles biotechnologies se répandent le plus rapidement possible et pénètrent les milieux de la production et de la transformation agro-alimentaire.

La production et la transformation agro-alimentaire ont connu un grand dynamisme au Québec depuis quelques années. On a atteint un fort degré d'autosuffisance dans plusieurs types de production, et une partie de la production québécoise est exportée dans de nombreux secteurs. De plus, cette production apparaît très diversifiée en comparaison de celle de la plupart des autres régions canadiennes, malgré des contraintes climatiques fortes. Cependant, la récente libéralisation des échanges internationaux présente des défis nouveaux à l'industrie agro-alimentaire québécoise. La concurrence des produits américains ou autres se fait de plus en plus sentir, même sur le marché canadien. Le recours aux biotechnologies aurait pour effet de stimuler ce secteur économique et de développer sa compétitivité.

L'industrie des pâtes et papiers, qui est la principale industrie utilisatrice du **bois** au Québec et qui représente à ce titre un potentiel important pour les biotechnologies, éprouve actuellement de grandes difficultés. Les réserves de bois diminuent, la hausse des coûts affecte la compétitivité des entreprises, la demande accrue de papiers de qualité supérieure n'a pas été prévue et l'industrie québécoise accuse un retard important dans ce marché. Enfin, l'effort de recherche n'est pas proportionnel à l'importance de l'industrie[24]. Un certain nombre de procédés biotechnologiques sont maintenant en application et de nombreuses possibilités existent au stade expérimental. Toutefois, contrairement aux entreprises papetières de Scandinavie et des États-Unis, par exemple, les papetières canadiennes et québécoises sont réticentes à explorer les mises à l'échelle industrielle. On note d'ailleurs, à l'image du secteur agro-alimentaire, des difficultés importantes de transfert des connaissances et des techniques des milieux de la recherche vers l'application industrielle[25].

Dans le domaine de **l'environnement**, l'expertise scientifique et la recherche se retrouvent au Québec comme ailleurs au Canada principalement dans les laboratoires gouvernementaux ainsi que dans les universités; cependant cette expertise, particu-

24. Michel Desrochers, Esteban Chornet, André Fortin, *Le secteur forestier et les biotechnologies au Québec*, document interne, Conseil de la science et de la technologie, 1987.

25. Ainsi que l'ont souligné les auteurs du rapport *National Business Strategy for Biotechnology*, préparé par la firme Peat, Marwick, Stevenson & Kellogg pour le compte du Comité consultatif national des biotechnologies, Ottawa, décembre 1990.

lièrement en ce qui concerne le traitement des eaux et des sols, n'est pas suffisamment développée au Québec, car on n'a pas stimulé la demande. Il est manifeste à cet égard que dans les projets d'actions structurantes au Québec, aucune équipe ne s'est concrétisée dans les techniques d'assainissement des eaux et des sols (voir la section sur la recherche).

Pour que le domaine de l'environnement s'ouvre à l'utilisation des biotechnologies, il faut que les pouvoirs publics soient eux-mêmes sensibilisés à l'intérêt des biotechnologies. De plus, il est reconnu que la réglementation environnementale est un élément pouvant stimuler l'innovation dans les procédés d'assainissement et de contrôle des rejets. Si les biotechnologies au Québec et au Canada sont si peu utilisées dans le domaine de l'environnement, c'est en partie à cause d'une réglementation environnementale peu sévère. Le Canada et le Québec doivent de façon prioritaire adopter une politique d'harmonisation des normes environnementales avec les standards internationaux, par exemple ceux définis par l'OCDE.

D'autres modes de financement doivent être imaginés, afin de permettre aux entreprises de services et d'ingénierie d'absorber les coûts de recherche liés à la mise à l'échelle des procédés biotechnologiques. L'absence de financement pour ce type d'activité reflète en quelque sorte le peu d'intérêt du marché pour les biotechnologies. Un partenariat de financement regroupant les entreprises et les gouvernements est indispensable; des organismes tels le Centre Saint-Laurent et le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB) agissent déjà d'ailleurs comme partenaires de financement et stimulent la recherche et le développement de technologies nouvelles.

Chapitre 3
Les activités de recherche-développement et le transfert

La recherche-développement en biotechnologie constitue une partie essentielle de la base sur laquelle se développeront les entreprises actives dans tous les secteurs du champ des biotechnologies. En effet, les biotechnologies sont en émergence et leur développement repose en grande partie sur les percées scientifiques dans un grand nombre de domaines encore à explorer.

3.1 La R-D sur le plan international

La recherche-développement en biotechnologie dans le monde est essentiellement le fait des pays industrialisés[26]. En 1987, l'Amérique du Nord effectuait environ 60 % des investissements pour cette recherche dans le monde, l'Europe 28 % et le Japon 10 %.

Il est très difficile d'obtenir une répartition de ces investissements par pays, faute de données comparables. Par contre, les investissements des gouvernements en R-D (tant les dépenses internes que les subventions aux universités et aux entreprises) dans ce domaine sont mieux connus. Ainsi, en 1985, selon les données de l'European Biotechnology News, les États-Unis arrivaient très nettement en premier, avec des dépenses publiques de R-D en biotechnologie de l'ordre de 2,8 milliards de dollars. Viennent très loin derrière le Japon et quelques pays de la Communauté européenne pris individuellement. Le Canada se classait au 9e rang (tableau 3.1) si on ne tient compte que des dépenses du gouvernement fédéral. Ces données ne sont pas récentes, mais il y a tout lieu de croire que la position relative des pays mentionnés n'a pas changé substantiellement depuis cette date.

Mais ces investissements publics ne donnent qu'une idée très approximative des dépenses totales de R-D en biotechnologie. En effet, le financement de la R-D en biotechnologie par les pouvoirs publics est important aux États-Unis, où il représente environ 65 % des dépenses totales de R-D en biotechnologie de ce pays, mais dans des pays comme l'Allemagne, le Japon et même la France, ce sont les investissements privés qui dominent.

Malgré des progrès dans la commercialisation des biotechnologies, la recherche en biotechnologie demeure encore largement en amont du développement de produits. Les efforts d'élucidation de mécanismes fondamentaux restent encore au centre des préoccupations et reçoivent la plus grande part des crédits. La biologie moléculaire, l'enzymologie, la microbiologie en tant que disciplines génériques continuent, comme au début des années 80, d'être des priorités dans les politiques nationales.

---

26. La section 3.1 s'inspire en partie de l'étude préparée pour le Conseil de la science et de la technologie par Camille Limoges et autres, *Les politiques nationales pour le soutien et pour la régulation des biotechnologies dans huit pays industrialisés et dans la Communauté économique européenne*, 1991.

Tableau 3.1 Dépenses publiques en biotechnologie dans certains pays, 1985-1986

Pays	Investissements annuels (millions de dollars)
États-Unis	2 835
Japon	412
France	335
République fédérale allemande	327
Royaume-Uni	267
Suède	150
Danemark	134
Suisse	120
Canada*	**79**
Italie	69
Belgique	49

* Pour le Canada, le montant indiqué ne tient pas compte des dépenses des gouvernements provinciaux.

Source : *La biotechnologie au Canada : une industrie qui promet*, Toronto, 1989 (données provenant du *European Biotechnology News*).

On constate cependant un intérêt nouveau ou accentué depuis cette date pour certains aspects ou certaines disciplines, comme l'immunologie cellulaire, la neurobiologie, la biologie du développement, la structure et les fonctions des gènes, la régulation des fonctions physiologiques et l'identification de métabolites utilisables par l'industrie. Une insistance, qui n'est pas nouvelle, sur certaines technologies ou certains procédés est également à souligner : cultures à grande échelle de cellules et de tissus, mises à l'échelle, procédures analytiques, technologies de mesure et de contrôle, technologies d'extraction et de purification. Il faut également noter l'accentuation nouvelle de l'utilisation de la micro-électronique et de la robotique : développement de bioréacteurs entièrement automatisés, de synthétiseurs de protéines, de séquenceurs et de synthétiseurs d'acides nucléiques.

Le plus gros des investissements en recherche est concentré dans deux domaines d'application des biotechnologies : le biomédical et pharmaceutique, qui vient très nettement en tête, et l'agro-alimentaire. Pratiquement tous les pays accordent une priorité aux biotechnologies du domaine biomédical et pharmaceutique et y consacrent la plus grande part de leurs dépenses en R-D. L'agro-alimentaire reçoit également une grande attention, et l'on constate un intérêt particulier pour les biotechnologies végétales.

Une autre constatation générale est l'importance de la recherche non universitaire dans plusieurs pays, c'est-à-dire la recherche effectuée dans des organismes gouvernementaux ou privés. C'est le cas en France avec l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), le Centre national de recherche scientifique (CNRS) et l'Institut Pasteur, en Allemagne avec les instituts de la Max Planck Gesellschaft, aux États-Unis avec les instituts des National Institutes of Health (NIH), au Japon avec les centres de recherche gouvernementaux.

La recherche-développement en biotechnologie aux États-Unis est largement financée par les pouvoirs publics, principalement par les National Institutes of Health (NIH), instituts qui sont responsables d'environ 80 % du soutien fédéral total pour la recherche

biotechnologique et qui exécutent une large part des recherches dans leurs propres laboratoires. Les biotechnologies ont connu un développement rapide dans les années 80, notamment grâce aux PME fondées par des universitaires. La recherche à l'université est également très importante. Comme nous l'avons souligné, la plupart des grandes entreprises ont d'abord attendu que la recherche ait démontré un intérêt avant d'investir massivement. Mais aujourd'hui, beaucoup de groupes consacrent plus de 200 millions de dollars par année à des activités de R-D en biotechnologie. Le projet le plus connu est sans doute le Projet du génome humain, qui vise la cartographie et le séquençage des bases du génome de l'espèce humaine. Avec un budget de 3 milliards de dollars prévu pour 12 à 15 ans, les dépenses devraient être de 135 millions de dollars en 1991.

La recherche-développement en biotechnologie au Japon est en très grande partie financée par les entreprises, dont la contribution est plus du double de celle du gouvernement. Ce pays dispose d'un vaste réservoir d'entreprises qui se sont engagées massivement en R-D dans les nouvelles biotechnologies. En 1982, déjà, environ 400 entreprises étaient actives en biotechnologie. En 1990, ce nombre a doublé, dont une centaine sont dans l'agro-alimentaire et 80 dans le secteur pharmaceutique. Par ailleurs, le gouvernement japonais apporte un soutien loin d'être négligeable à la recherche-développement en biotechnologie, notamment par l'Agence pour la science et la technologie et le ministère du Commerce international et de l'Industrie (MITI). Les efforts récents et les initiatives nouvelles du Japon en biotechnologie s'ajoutent aux forces importantes dans des industries anciennes reposant sur la microbiologie et les fermentations industrielles.

Plusieurs pays européens se sont engagés de façon dynamique dans la recherche-développement en biotechnologie, notamment la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni, parmi les grands, et la Suisse, les Pays-Bas et le Danemark, parmi les petits pays. L'Allemagne est particulièrement active en biotechnologie depuis le milieu des années 70; elle s'appuie sur des organismes réputés et sur une industrie puissante. En France, le rôle de l'État est très grand, mais le secteur des entreprises constitue néanmoins le plus important investisseur dans la recherche-développement en biotechnologie. Des petits pays comme la Suisse, les Pays-Bas et le Danemark sont également très actifs.

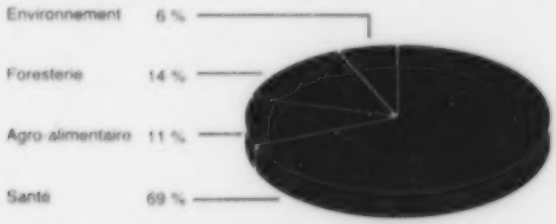
Enfin, la Communauté européenne dispose de programmes qui lui sont propres, en plus des programmes des divers membres; elle est devenue une force reconnue dans la recherche-développement en biotechnologie. Ainsi le programme-cadre de recherche accorde une priorité aux biotechnologies. Plusieurs programmes particuliers ont été mis en place, notamment le Programme d'action en biotechnologie, qui ont donné naissance à une infrastructure de recherche biotechnologique proprement européenne et à une relève scientifique substantielle.

3.2 La recherche en biotechnologie dans les universités du Québec

Les établissements d'enseignement supérieur sont très actifs en recherche dans les domaines des biotechnologies. Signalons d'emblée certaines difficultés à fournir une appréciation juste de l'effort de recherche. Les «biotechnologies» recouvrent des réalités scientifiques et techniques diverses sur le plan disciplinaire dans les universités. La collecte des données est sujette à des interprétations plus ou moins larges par ceux qui se chargent d'inventorier les projets de recherche. C'est le cas non seulement des organismes publics mais aussi des universités.

Les données recueillies auprès des universités nous permettent d'estimer à environ 27 millions de dollars la somme totale des recherches subventionnées et commanditées en matière de biotechnologie pour l'ensemble des universités québécoises. La distribution des sommes gérées à titre de subventions de recherche par les universités québécoises montre que le secteur de la santé prend de loin la plus grande part, soit 69 % des sommes dépensées, comme aux États-Unis, suivi de la foresterie et de la biologie végétale (14 %), de l'agro-alimentaire (11 %) et de l'environnement (6 %) (graphique 3.1).

Graphique 3.1 Répartition par secteur des fonds alloués aux recherches en biotechnologie dans les universités québécoises, 1989-1990



Dépenses estimées à 27 millions de dollars en 1990

Source : Données fournies par chacun des établissements universitaires et colligées par le Conseil de la science et de la technologie.

Il est difficile de répartir, par champ d'application des biotechnologies, les activités de recherche des universités et de certains centres et équipes ayant des activités de recherche pluridisciplinaires et plurisectorielles, malgré cette situation le tableau 3.2 dénombre les chercheurs universitaires par domaine d'application en biotechnologie.

Tableau 3.2 Nombre de chercheurs[1] en biotechnologie dans les universités québécoises selon les domaines d'application, 1991

	Santé	Agro-alimentaire	Foresterie	Environnement	Total[2]
Concordia			1	5	8
Laval	30	12	27	9	78
McGill	85	18	3	11	169
Montréal	79		8	8	98
Québec	17	4	8	7	36
Sherbrooke	22		1	8	31
Total	233	34	48	48	420

1. Cette estimation du nombre de professeurs-chercheurs et chercheurs principaux en biotechnologie se fonde sur des données fournies par les universités concernées.
2. Certains chercheurs n'ont pu être classés dans l'un ou l'autre secteur, leurs recherches étant plutôt de type fondamental ; le total par université peut donc être supérieur à la somme des chercheurs répartis par domaine.

Sources : Données fournies par les universités ; dans le cas de McGill, données du centre Sheldon et de la Faculté d'études supérieures et de la recherche ; compilation du Conseil de la science et de la technologie.

On peut estimer à environ 420 les chercheurs actifs en biotechnologie dans les universités québécoises. Plus de la moitié de ces chercheurs travaillent en santé et sont répartis dans cinq universités. Les contingents les plus importants de chercheurs en santé se trouvent aux universités McGill et de Montréal. Ces deux universités partagent la tête d'un Réseau de centres d'excellence en régénération neurale et réadaptation fonctionnelle en plus de participer au Réseau canadien sur les maladies génétiques. De plus, l'Université McGill s'est vu reconnaître une importante équipe de recherche dans le cadre du programme québécois des Actions structurantes. Les universités Laval, de Sherbrooke et du Québec (dans le cas de cette dernière, notamment l'Institut Armand-Frappier) décrochent des subventions de recherche importantes annuellement pour la recherche de type biotechnologique en santé. Signalons, par ailleurs, qu'en «santé» sont inclus les chercheurs spécialisés en santé animale, notamment ceux de l'Université de Montréal (à la Faculté de médecine vétérinaire) et ceux de l'Université McGill.

La foresterie et l'environnement viennent en deuxième place avec respectivement 48 chercheurs chacun. En foresterie, c'est à l'Université Laval que l'on trouve la plus grande concentration de chercheurs (27); une équipe y bénéficie d'une subvention importante dans le cadre du programme d'Actions structurantes. En matière d'environnement, les chercheurs se répartissent dans toutes les universités québécoises, sans concentration importante. Finalement, en agro-alimentaire les chercheurs (34 au total) se retrouvent dans des concentrations plus importantes et significatives, notamment aux universités Laval et McGill. Bien qu'un nombre assez important de chercheurs (57) n'ait pu être réparti dans les différents secteurs, il concerne principalement ceux de McGill, où une majorité d'entre eux seraient dans le secteur de la santé.

Plusieurs universités ont mis en place des mécanismes pour coordonner et soutenir les activités de leurs unités de recherche en biotechnologie. C'est le cas de l'Université McGill, qui a créé en 1989 le Centre de biotechnologie Sheldon. Ce centre dispose d'une infrastructure technique de pointe et offre aux chercheurs des services à prix modique. Onze centres de recherche en font partie.

À l'Université de Montréal, un comité de biotechnologie s'assure de la promotion des recherches effectuées dans les différentes unités, en plus de stimuler les contacts entre les entrep ses et les chercheurs. De même, à l'Université du Québec, un comité de travail sur les biotechnologies réunit des représentants des cinq unités du réseau qui s'intéressent d'une manière ou d'une autre à ce domaine (Institut Armand-Frappier, Université du Québec à Chicoutimi, Université du Québec à Trois-Rivières, Université du Québec à Montréal et l'Institut national de la recherche scientifique / Santé).

Les unités de recherche en santé

Le domaine de la santé canalise, selon nos estimations, 69 % des activités de recherche universitaire identifiées aux biotechnologies, soit plus de 18 millions de dollars en 1990. Plusieurs centres et équipes de recherche de renommée nationale et internationale contribuent à l'image d'excellence qu'a le Québec dans le domaine de la santé. Ces unités de recherche, qui regroupent au moins 233 chercheurs, sont réparties principalement dans cinq universités, McGill, Montréal, Laval, Sherbrooke et l'Université du Québec, ainsi que dans les principaux instituts et centres de recherche hospitaliers affiliés aux universités.

La recherche en biotechnologie de la santé à **l'Université McGill** est très importante. Plus de 80 chercheurs travaillent dans ce domaine. Une partie d'entre eux sont regroupés dans six unités de recherche principales, portant sur les sujets suivants : le cancer, les cel-

lules et les organes artificiels, les mécanismes endocriniens, les diagnostics monoclonaux, la génétique humaine, la parasitologie, la reproduction. Une autre partie effectuent leur recherche au sein des centres de recherche des hôpitaux affiliés à l'Université McGill – l'hôpital Royal Victoria et l'hôpital général de Montréal.

La création en 1989 du Centre de biotechnologie Sheldon, dont une grande partie des activités portent sur le soutien à la recherche en biotechnologie de la santé, fournit maintenant un lieu de concertation et, surtout, de mise en commun d'infrastructures de pointe et de services utiles dans toute une gamme de recherches disciplinaires diversifiées, telles que la synthèse et la purification des oligonucléotides, le séquençage des protéines et des peptides, la synthèse des peptides, l'analyse des acides aminés et des protéines et la spectroscopie de masse. Ce centre a mis en place un programme de collaboration entre l'entreprise privée et les chercheurs de McGill.

À **l'Université de Montréal**, les recherches en biotechnologies de la santé au cours des trois dernières années ont bénéficié en moyenne d'environ 8,5 millions de dollars par année en subventions, commandites et bourses d'études aux chercheurs appartenant à une quinzaine de départements, unités ou centres de recherche.

Cette université compte des forces importantes en biotechnologie de la santé humaine dans ses départements de biochimie (19 chercheurs) et de microbiologie-immunologie (neuf professeurs-chercheurs). Le groupe de chercheurs du département de biochimie a obtenu en 1989-1990 près de 1,4 million de dollars en subventions de recherche, dont plus de 60 % du Fonds de recherche en santé du Québec (FRSQ) et du Conseil de recherches médicales du Canada (CRM). Ce sont cependant les instituts et les centres hospitaliers qui regroupent le plus grand nombre de chercheurs : l'Institut de recherches cliniques, l'Institut du cancer, le Centre de recherche de l'hôpital Sainte-Justine, le Centre de recherche de l'hôpital Notre-Dame et le Centre de recherche Maisonneuve-Rosemont.

En biotechnologie de la santé animale, l'Université de Montréal compte deux centres de recherche : le Groupe de recherche en maladies infectieuses du porc (GREMIP) et le Centre de recherche en reproduction animale (CRRA), tous deux rattachés à la faculté de médecine vétérinaire de cette institution. La vingtaine de chercheurs de ces deux centres ont reçu au cours des deux dernières années des subventions d'un grand nombre d'organismes subventionnaires publics, tels qu'Agriculture Canada, le Conseil des recherches en pêche et agro-alimentaire du Québec (CORPAQ) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), ainsi que d'organismes privés : l'Association canadienne des éleveurs de bétail et la Fédération des producteurs de porcs.

À **l'Université Laval**, une trentaine de chercheurs, répartis dans sept groupes ou centres de recherche, se consacrent à des travaux de biotechnologie liés à la santé humaine et animale. En santé humaine, ces chercheurs concentrent leurs efforts à la mise au point de marqueurs biologiques, de produits diagnostiques ou de sondes génétiques dans des champs très variés, tels que la détection de cancers ou de maladies mentales, la résistance aux antibiotiques et l'écologie buccale. En santé animale, les efforts de recherche portent sur la reproduction. On y trouve en particulier l'équipe associée à la chaire SEMEX-CRSNG en biotechnologie de la reproduction animale.

C'est autour du Département de microbiologie de la Faculté de médecine qu'on trouve une importante unité en biotechnologie à **l'Université de Sherbrooke** — le Groupe de recherche et de formation en génétique moléculaire et en génie génétique. Deux autres unités de recherche regroupent la majorité des autres chercheurs actifs en biotechnologie :

le Centre de recherche en immunobiologie et le Centre de recherche sur les mécanismes de sécrétion.

L'Institut Armand-Frappier est une des forces de l'Université du Québec en biotechnologie de la santé. L'axe principal de recherche est la mise au point d'outils diagnostiques et de vaccins pour usage humain ou vétérinaire (incluant l'aquiculture). On y travaille également à la production de substances d'intérêt pharmaceutique (polypeptides biosynthétiques).

Des chercheurs de plusieurs constituantes de **l'Université du Québec** sont également actifs en biotechnologie de la santé, en particulier aux départements de chimie et des sciences biologiques de l'Université du Québec à Montréal et au Centre interuniversitaire d'études sur les populations dont le directeur relève de l'Université du Québec à Chicoutimi.

Les unités de recherche en agro-alimentaire

La recherche en biotechnologie dans le domaine agro-alimentaire dans les universités est estimée à environ 3 millions de dollars en 1990 au Québec, soit 11 % des dépenses de recherche en biotechnologie des universités. Trente-quatre chercheurs y travaillent dans plus d'une dizaine de centres ou groupes de recherche relevant des universités McGill, Laval, du Québec.

L'Université McGill est présente dans les biotechnologies appliquées dans le domaine agro-alimentaire, notamment par sa faculté d'agriculture et ses installations du collège Macdonald, ainsi que par les centres sur les biopesticides et sur les biotechnologies avicoles.

Dans le domaine des biotechnologies agro-alimentaires, **l'Université Laval** réunit une douzaine de chercheurs dans le groupe de recherche en sciences et technologie du lait (STELA). Les travaux de ces chercheurs portent sur l'utilisation des biotechnologies pour l'amélioration des produits laitiers ; d'autres chercheurs travaillent sur l'hydrolyse enzymatique des protéines. Enfin, une autre équipe (le Groupe de recherche sur les interactions plantes/pathogènes) travaille sur les manipulations génétiques de plantes et de micro-organismes appliquées à l'agriculture et à la foresterie (dans le tableau 3.2, ces chercheurs sont dénombrés dans le secteur foresterie).

L'Institut Armand-Frappier compte plusieurs projets de recherche en biotechnologies agro-alimentaires visant la production de plantes qui résistent aux virus et la mise au point de trousses de dépistage de toxines dans les produits alimentaires.

Les recherches en biotechnologie à **l'Université du Québec à Montréal** se concentrent principalement dans le Département des sciences biologiques (une douzaine de chercheurs), où les recherches concernent surtout la fermentation, les biotechnologies animales et humaines (effets des agents toxiques de l'environnement), les biotechnologies végétales (processus de résistance des plantules de blé à différentes formes de stress). Cinq chercheurs du Département de chimie-biochimie se sont également regroupés au sein du Groupe de recherche en enzymologie fondamentale et appliquée et font des travaux en biotechnologie.

Les unités de recherche en foresterie

La recherche en biotechnologie appliquée au domaine de la foresterie dans les universités au Québec est, en ce qui concerne les dépenses, un peu plus importante que la recherche en biotechnologie agro-alimentaire. Elle est estimée à environ 3,7 millions de dollars en 1990, soit 14 % de l'ensemble de la recherche universitaire en biotechnologie. Cinq universités, regroupant 48 chercheurs, sont actives dans ce domaine : Laval, Université de Montréal, Université du Québec, McGill et Université de Sherbrooke.

Deux facultés de **l'Université Laval** regroupent vingt-sept chercheurs spécialisés dans les domaines de la biologie végétale et en foresterie : Sciences de l'agriculture et de l'alimentation et Foresterie et géomatique. Un groupe de douze chercheurs travaille sur les interactions entre plantes et agents pathogènes (Groupe de recherche sur les interactions plantes/pathogènes) ; il bénéficie de subventions et de commandites d'au-delà d'un million de dollars en moyenne annuellement. On poursuit également des travaux sur la génétique moléculaire végétale, en particulier sur la fixation de l'azote, la phytoprotection, la lutte biologique et la symbiose végétale (Groupe de recherche en génétique moléculaire). Enfin un centre de recherche (le Centre de recherche en biologie forestière, subventionné dans le cadre du programme *Actions structurantes*) travaille sur l'identification génétique et la multiplication des micro-organismes symbiotiques et leurs mécanismes d'échanges et de reconnaissance avec les plantes.

Le nouvel **Institut de recherche en biologie végétale** (IRBV), parrainé par l'Université de Montréal, la Ville de Montréal et le ministère de l'Enseignement supérieur et de la science, représente un effort en vue de consolider les efforts de recherche dans un domaine où la faiblesse du Québec avait été maintes fois déplorée. L'Institut comprend une dizaine de chercheurs, une trentaine d'étudiants et d'assistants. Sept chercheurs ont des activités liées aux biotechnologies, mais leur nombre pourrait augmenter dans les prochaines années puisqu'on prévoit atteindre 25 chercheurs au total d'ici cinq ans.

Environ 50 % des activités de recherche de l'IRBV sont liées aux biotechnologies et portent sur la production de plantes aux propriétés inédites, notamment en ce qui a trait à la résistance aux stress, tels que maladies, insectes, froid, sécheresse, et sur la production de métabolites secondaires utiles, en particulier les substances d'intérêt pharmaceutique.

En vue d'assurer le transfert technologique des innovations provenant de l'Institut, mais sans en être partie constituante, une entreprise industrielle coopérative est en voie de se constituer tout à côté de l'Institut. Celle-ci, indépendante de l'IRBV, cherche à regrouper des entreprises horticoles dans un consortium qui s'occupera de développer des produits à partir notamment des résultats scientifiques obtenus par les chercheurs de l'Institut.

Les milieux de la recherche universitaire ont donc donné suite à une recommandation importante de l'avis de 1985[27] du Conseil de la science et de la technologie sur les biotechnologies, qui signalait l'absence d'expertise au Québec dans le domaine de la biologie végétale. Le Conseil recommandait que des actions soient entreprises afin de regrouper les compétences dispersées et de faire en sorte de développer la recherche.

---

27. Conseil de la science et de la technologie, *Recherche et formation en biologie végétale au Québec*, par Pierre Morisset et Rose-Marie Pelletier, document 86-07, novembre 1986, p. 54, et *Avis sur le développement industriel des biotechnologies au Québec*, mai 1985, recommandation 5a, p. 28.

À **l'Université du Québec**, quelques chercheurs du Centre de recherche en microbiologie appliquée de l'Institut Armand-Frappier travaillent sur le blanchiment biologique des pâtes de papier et sur le traitement et la valorisation des déchets du bois par utilisation de micro-organismes. Un centre de recherche à l'UQTR sur les pâtes et papiers contribue à certains des projets sur les procédés biotechnologiques appliqués aux pâtes et papiers.

L'Université McGill est active en biologie végétale, principalement au Centre de phytobiologie moléculaire. Les recherches portent sur la biologie moléculaire des mitochondries des plantes. Le Centre étudie entre autres les transports membranaires, la biosynthèse des lipides et des polysaccharides et les interactions des agents pathogènes.

À **l'Université de Sherbrooke**, une équipe étudie la conversion enzymatique ou microbiologique des substrats cellulosiques prétraités ou de leurs fractions.

Les unités de recherche en environnement

La recherche sur les biotechnologies appliquées à l'environnement semble moins développée dans les universités que les autres champs d'application. Les activités de recherche représentent des dépenses d'environ 1,5 million de dollars en 1990, soit près de 6 % de la recherche universitaire en biotechnologie. Cette recherche est répartie dans toutes les universités québécoises.

L'École polytechnique a depuis quelques années renforcé ses activités de recherche en environnement. Le Groupe de recherche en procédés biotechnologiques (BIOPRO), créé en 1987, s'occupe des biotechnologies d'assainissement et plus précisément de la conception, de la mise au point et de la mise à l'échelle de procédés pour le traitement biotechnologique aérobique ou anaérobique d'effluents et de résidus industriels et domestiques, pour le traitement des lixiviats et pour la conversion de la biomasse.

Un groupe de six chercheurs sur la valorisation des déchets agricoles et traitement des eaux par biotechnologie et biotraitement existe à **l'Université Laval**. D'autres projets à cette université dans ce domaine d'application portent sur la lixiviation bactérienne de minéraux aurifères, la bioénergie microbienne et, finalement, la lutte biologique contre les insectes nuisibles (participation au Réseau canadien de biotechnologie appliquée aux insectes).

À **l'Université du Québec**, l'INRS-Eau travaille sur le traitement des eaux et l'INRS-Santé sur la biodégradation des BPC. Par ailleurs, plusieurs projets des chercheurs de l'Institut Armand-Frappier portent sur la valorisation de substances polluantes, comme les composés aromatiques, sur le traitement de déchets, comme le lisier de porc, et sur les biopesticides. Les projets regroupent souvent des chercheurs de plusieurs constituantes de l'Université du Québec et parfois des chercheurs de centres gouvernementaux.

Deux centres de **l'Université McGill** se consacrent à la recherche en biotechnologie de l'environnement. Il y a le Centre de recherche sur les biopesticides, qui a signé une entente avec le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB) et le ministère québécois de l'Environnement pour un montant de 1,5 million de dollars sur trois ans pour implanter un programme de recherche sur les bioherbicides applicables aux secteurs forestier et urbain. Il y a également le Centre de génie des bioprocédés, dont le rôle consiste à mettre au point des bioprocédés et à optimiser la biosynthèse à grande échelle.

Le financement de la recherche en biotechnologie dans les universités

Le financement de la recherche universitaire en biotechnologie provient principalement des organismes subventionnaires gouvernementaux. Au fédéral, les principaux organismes de financement de la recherche en biotechnologie sont le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) et le Conseil de recherches médicales (CRM).

Le CRSNG s'est donné comme priorité de développer le secteur des biotechnologies, et en 1990-1991 environ 20 millions de dollars ont été distribués pour les biotechnologies à titre de subventions de recherche dans tout le Canada. Le Québec a obtenu 23 % de ces montants, soit 4,6 millions environ. Le CRM a appuyé de façon particulière, au milieu des années 80, les biotechnologies (développement thématique, quelque 2 millions de dollars au Québec en 1986-1987), mais il n'est plus possible de suivre l'évolution de cette aide dans les années récentes. Par ailleurs, le Québec décroche de loin la plus grande part (43 %) des subventions octroyées dans le cadre du programme universités-industries (presque 2 millions de dollars au Québec), un programme dont les retombées pour les biotechnologies devraient s'avérer importantes.

Les organismes subventionnaires du gouvernement du Québec sont le Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche (FCAR) (subventions de 1,2 million de dollars en biotechnologie en 1991-1992), le Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) (plus d'un million de dollars en 1990-1991) et le Conseil des recherches en pêche et agro-alimentaire du Québec (CORPAQ) (500 000 $ en 1991-1992). Bien que ces organismes subventionnaires contribuent au financement de la recherche en biotechnologie, ils n'ont pas mis en place de programmes thématiques en biotechnologie. Le Conseil a effectué lui-même l'inventaire des subventions liées aux biotechnologies en ce qui concerne le montant total des subventions du Fonds FCAR.

Plus récemment, des organismes nouveaux tels le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB) ou le Centre Saint-Laurent (CSL) d'Environnement Canada encouragent le partenariat de recherche université entreprise gouvernement sur des thématiques particulières et ils contribuent au financement de la recherche universitaire.

Enfin, les deux paliers de gouvernement ont mis en place des programmes spéciaux de recherche afin de favoriser le regroupement de chercheurs et le partenariat de recherche. Le programme des Actions structurantes, lancé par le gouvernement du Québec en 1984, a permis la constitution de huit équipes de recherche oeuvrant dans des champs d'application des biotechnologies. Le gouvernement fédéral a mis en place le programme des Réseaux de centres d'excellence en 1989, afin de développer l'excellence de la recherche sur des thématiques précises et de favoriser le partenariat entre universités et entreprises.

Les Actions structurantes du Québec

Le programme des Actions structurantes, maintenant terminé, avait pour objectif de bâtir des équipes de chercheurs dans des créneaux importants pour le Québec. Géré par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, il a fourni une assistance de 15,7 millions de dollars à 11 groupes de chercheurs dont les travaux visaient plus spécifiquement les biotechnologies dans les domaines de la santé, de l'agro-alimentaire et de la foresterie (tableau 3.3). Le financement de chaque projet était réparti sur une période de

cinq ans. Certaines des équipes ont vu leurs chercheurs intégrés aux effectifs des universités et plusieurs d'entre elles se retrouvent intégrées dans le programme «Centre de recherche» du fonds FCAR.

Tableau 3.3 Actions structurantes dans les domaines des biotechnologies, 1984-1985 à 1990-1991

Projet	Début de période	Domaine	Université	Subventions
Valorisation des macromolécules végétales par voie de dépolymérisation thermo-chimique et action enzymatique*	1986-1987	Agro-alimentaire	Sherbrooke	1 035 145
Formation de chercheurs et développements biotechnologiques et technologiques en sciences des radiations	1986-1987	Énergie	Sherbrooke	1 486 522
Programme de recherche pluridisciplinaire en sciences laitières	1987-1987	Agro-alimentaire	McGill	1 008 662
Sciences et technologies laitières	1985-1986	Agro-alimentaire	Laval	1 644 381
Étio-pathogénie, diagnostic et contrôle des maladies bactériennes du porc	1985-1986	Agro-alimentaire	Montréal	1 777 184
Application phénotypique du génie génétique à la population du Québec	1985-1986	Santé et autres	Laval, McGill UQAC	1 584 900
Étude de l'établissement de la gestation et des facteurs conduisant à la mortalité embryonnaire chez les grands animaux domestiques	1985-1986	Agro-alimentaire	Montréal	1 724 117
Génie génétique et biotechnologie: un centre de formation pour le Québec	1985-1986	Santé	Sherbrooke	1 677 726
Biotechnologies et nouvelles thérapeutiques des cancers hormonaux dépendants*	1984-1985	Santé	laval	1 078 328
Manipulations génétiques de plantes et de micro-organismes appliquées à l'agriculture et à la foresterie	1984-1985	Végétal	Laval	1 332 857
Soutien de personnel d'équipe de chercheurs dans «l'immobilisation» des matériaux biologiques actifs	1984-1985	Santé	McGill	1 373 281

* Ces actions structurantes ont été interrompues après trois ans.

Source : Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science

Les Réseaux de centres d'excellence

Le programme des Réseaux de centres d'excellence, créé par le gouvernement fédéral en 1989 et géré par les trois conseils subventionnaires fédéraux réunis, a commencé à fonctionner au cours de l'année 1990-1991. Plusieurs des réseaux comprennent des activités liées aux biotechnologies (tableau 3.4). Plusieurs universités québécoises participent à ces réseaux, et deux d'entre elles agissent comme tête du réseau.

Tableau 3.4 Participation des universités québécoises aux réseaux des centres d'excellence oeuvrant en biotechnologie

Nom du réseau	Universités participantes	000 000 $
Réseau canadien sur les maladies génétiques	• Université de Colombie-Britannique* • Institut de recherches cliniques de Montréal • Université McGill • Université Laval • Université de Montréal • Université du Québec à Chicoutimi	17.3
Réseau de centres d'excellence en génie protéique	• Université de Colombie-Britannique* • Institut de recherche en biotechnologie	20.0
Réseau canadien de biotechnologie appliquée aux insectes	• Université Queen's* • Université Laval	9.1
Réseau RN (régénération neurale et réadaptation fonctionnelle)	• Université McGill* • Université de Montréal* • Université Concordia • Institut Ludwig • Institut de recherche en biotechnologie • Université Laval	25.5
Réseau canadien de recherche sur les bactérioses	• Université de Colombie-Britannique* • Université Laval	18.5

* L'université en question est leader du réseau.

Source : Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC).

En effet, l'Université McGill participe à deux réseaux de centres d'excellence et bénéficie de subventions du programme d'Actions structurantes pour le *Support de personnel d'équipe de chercheurs dans «l'immobilisation» des matériaux biologiques actifs* lié au programme de recherche sur les cellules et les organes artificiels.

L'Université de Montréal participe à deux réseaux tandis que l'Université Laval est associée à quatre réseaux; enfin, l'Université du Québec à Chicoutimi participe au réseau canadien sur les maladies génétiques. Comme ces réseaux ont pour but de favoriser l'intégration des chercheurs de l'industrie, des universités et du gouvernement, ce programme devrait assurer un meilleur transfert de nouvelles technologies à l'industrie. Mais selon l'information dont on dispose, il n'est pas possible de déterminer exactement quelle place occupent les biotechnologies dans ces cinq réseaux auxquels participent les universités québécoises.

3.3 La recherche gouvernementale

Il est difficile ici encore de chiffrer l'ampleur des activités de R-D effectuées dans les laboratoires, centres et instituts de recherche gouvernementaux. Bon nombre de nos informateurs étaient incapables de distinguer et de préciser les coûts totaux réels liés aux activités d'ordre biotechnologique pour un sous-ensemble de projets faisant, dans beaucoup de cas, partie d'une programmation plus vaste. Malgré cela, une estimation des dépenses est possible.

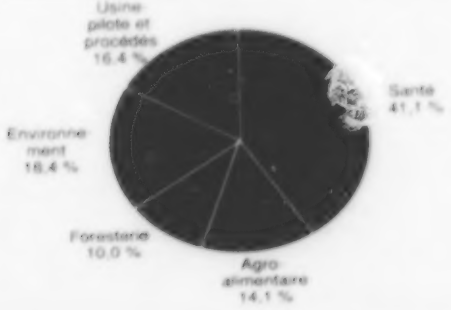
Quelque 27 millions de dollars seraient dépensés au Québec en 1990-1991 en recherche intra-muros dans les laboratoires, centres et instituts de recherche des deux paliers de gouvernement en matière de biotechnologie. À lui seul le gouvernement du Canada effectuait des dépenses en recherches biotechnologiques de l'ordre de 25,5 millions de dollars à l'intérieur de ses centres, répartis dans tous les domaines avec une prédominance en santé (43,5 %).

Tableau 3.5 Estimations des dépenses de recherche intra-muros en matière de biotechnologie des laboratoires et centres de recherche gouvernementaux au Québec, 1990-1991

Domaine	Québec	%	Canada	%
Santé			11 093 000	43,5
Agro-alimentaire	611 900	41,1	3 194 100	12,5
Foresterie	477 125	32,0	2 218 600	8,7
Environnement	400 000	26,9	4 560 600	17,9
Usine pilote et procédés			4 437 200	17,4
Total	**1 489 025**	**100,0**	**25 503 500**	**100,0**

Source : Compilation du Conseil de la science et de la technologie

Graphique 3.2 Répartition par domaine des dépenses de recherches en biotechnologie effectuées dans des laboratoires, centres et instituts gouvernementaux au Québec, 1990-1991



Source : Compilation du Conseil de la science et de la technologie

3.3 La recherche gouvernementale

Il est difficile ici encore de chiffrer l'ampleur des activités de R D effectuées dans les laboratoires, centres et instituts de recherche gouvernementaux. Bon nombre de nos informateurs étaient incapables de distinguer et de préciser les coûts totaux réels liés aux activités d'ordre biotechnologique pour un sous-ensemble de projets faisant, dans beaucoup de cas, partie d'une programmation plus vaste. Malgré cela, une estimation des dépenses est possible.

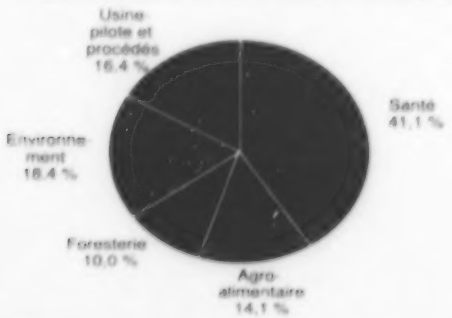
Quelque 27 millions de dollars seraient dépensés au Québec en 1990-1991 en recherche intra-muros dans les laboratoires, centres et instituts de recherche des deux paliers de gouvernement en matière de biotechnologie. À lui seul le gouvernement du Canada effectuait des dépenses en recherches biotechnologiques de l'ordre de 25,5 millions de dollars à l'intérieur de ses centres, répartis dans tous les domaines avec une prédominance en santé (43,5 %).

Tableau 3.5 Estimations des dépenses de recherche intra-muros en matière de biotechnologie des laboratoires et centres de recherche gouvernementaux au Québec, 1990-1991

Domaine	Québec	%	Canada	%
Santé			11 093 000	43,5
Agro-alimentaire	611 900	41,1	3 194 100	12,5
Foresterie	477 125	32,0	2 218 600	8,7
Environnement	400 000	26,9	4 560 600	17,9
Usine-pilote et procédés			4 437 200	17,4
Total	**1 489 025**	**100,0**	**25 503 500**	**100,0**

Source : Compilation du Conseil de la science et de la technologie.

Graphique 3.2 Répartition par domaine des dépenses de recherches en biotechnologie effectuées dans des laboratoires, centres et instituts gouvernementaux au Québec, 1990-1991



Source : Compilation du Conseil de la science et de la technologie.

En comparaison, le gouvernement du Québec a des activités de recherche beaucoup moindres, car la stratégie de développement de la recherche au Québec ne vise pas, contrairement à ce que pratique le gouvernement fédéral, à développer des laboratoires de recherche gouvernementaux. Mais certains ministères doivent maintenir une expertise scientifique dans des domaines sectoriels (tels l'agriculture, les mines, les forêts ou l'environnement) et effectuent à cet effet des activités de recherche. On estime ces activités de recherche intra-muros à environ 1,5 million de dollars.

Le gouvernement fédéral

C'est l'Institut de recherche en biotechnologie (IRB), situé à Montréal et relevant du Conseil national de recherches du Canada, qui représente le plus important regroupement de chercheurs et d'équipements spécialisés dans les biotechnologies au Québec et au Canada. Il apporte des contributions importantes dans tous les secteurs d'application des biotechnologies.

Il compte quelque 170 chercheurs et près de 100 chercheurs invités en 1991 et dispose d'installations parmi les plus modernes au Canada, dont une usine-pilote. Ses activités de recherche dans les domaines de l'immunologie moléculaire, du génie des protéines, du génie génétique et du génie biochimique sont rattachées à plusieurs secteurs d'application : les produits biopharmaceutiques, l'industrie forestière et les pâtes et papiers, l'environnement, l'agro-alimentaire, l'enzymologie industrielle et le génie des procédés. Le budget de recherche de l'IRB est de l'ordre de 22 millions de dollars en 1991.

En agro-alimentaire, la recherche gouvernementale est aussi très importante. Mentionnons en tout premier lieu les recherches effectuées par le Centre de recherche et de développement sur les aliments (CRDA), situé à Saint-Hyacinthe et rattaché à Agriculture Canada. Ce centre a pour objectif d'effectuer des recherches sur l'utilisation des agents biologiques dans la fabrication de nombreux produits, dans le but d'accroître la vigueur et la compétitivité de l'industrie alimentaire canadienne. Le travail effectué dans ce centre peut toucher autant l'amélioration de la qualité et de la valeur nutritive des denrées alimentaires que la mise au point ou l'amélioration des procédés de production. Le Centre dispose notamment d'une usine-pilote multifonctionnelle équipée pour travailler à des projets liés aux secteurs des fromageries, du traitement du lait, des boulangeries, des produits carnés, de l'irradiation, etc.

Les travaux liés directement aux biotechnologies au sein du CRDA — représentant un peu moins de 10 % des coûts de fonctionnement et des salaires, soit 0,9 million sur 10 millions de dollars annuellement aujourd'hui — comprennent notamment l'utilisation des bactéries lactiques libres et immobilisées dans les produits laitiers, carnés et alcoolisés ; la production d'additifs alimentaires naturels par la culture de tissus cellulaires ; la production de lactases thermostables ; la production d'arômes, de polysaccharides, d'acides aminés et de leurs précurseurs par fermentation ou catalyse enzymatique ; le développement ou la modification de procédés et la mise à l'échelle de procédés existants ; et d'autres travaux de caractérisation des conditions optimales de production de divers produits alimentaires. Huit chercheurs, assistés de techniciens, fournissent l'essentiel des efforts consacrés aux biotechnologies au CRDA.

L'Institut Maurice-Lamontagne compte une dizaine de chercheurs qui travaillent sur autant de projets liés aux biotechnologies. Ces projets portent sur la biologie de la reproduction et les conditions de l'élevage de différentes espèces de poissons et de

crustacés d'intérêt économique. Près d'un million de dollars est dépensé annuellement sur ces recherches, salaires, équipements, investissements et subventions compris.

Dans les stations de recherches d'Agriculture Canada (stations de recherches à Sainte-Foy, Saint-Jean sur Richelieu et Lennoxville) on trouve des recherches de type biotechnologique qui représentent des investissements de plus d'un million de dollars annuellement. Divers projets visent l'adaptation au stress des légumineuses tempérées, la résistance des céréales à diverses maladies, la production d'inoculants commerciaux pour diverses cultures telles que le pois et le haricot, la production d'insecticides d'origine biologique, la construction d'une carte génétique détaillée de certaines plantes d'intérêt commercial et des études de type génétique et autres sur les porcins et les bovins.

Le Centre Saint-Laurent, relevant d'Environnement Canada, dispose d'un budget important lui permettant de cofinancer avec des partenaires privés des projets de développement et de démonstration de technologies environnementales nouvelles. Ces technologies sont développées dans le but de réduire sinon d'éliminer les rejets de substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent, principalement les rejets industriels. Six secteurs industriels sont ciblés, soit les pâtes et papiers, les mines et la métallurgie, la chimie organique, la chimie inorganique, les pétrolières et le traitement des surfaces.

Les projets soutenus par le Centre Saint-Laurent et utilisant les biotechnologies sont de l'ordre de l'évaluation écotoxicologique des effluents industriels, la biodétoxication des sols d'industries diverses, le biotraitement des effluents d'usines de pâtes et papiers et la mise au point de bioréacteurs à membranes pour le traitement des eaux usées industrielles.

Enfin, le Centre de foresterie des Laurentides se concentre sur l'étude des moyens biologiques pour lutter contre les insectes et les maladies des arbres. Parmi les techniques utilisées, le Centre retient la production et l'utilisation d'anticorps monoclonaux et de sondes moléculaires, les techniques biochimiques ou immunologiques.

Les activités de recherche des organismes gouvernementaux québécois

Au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec on poursuit des recherches faisant appel aux biotechnologies dans plusieurs directions. Environ 5 % des projets de R-D intra-muros financés par la Direction de la recherche-développement (DRD) en 1990-1991 portaient sur les biotechnologies. Les recherches à la DRD touchent la phytotechnie, la zootechnie, les sols, les aliments et le génie rural. C'est surtout en phytotechnie, notamment sur la pomme de terre et les petits fruits et sur la culture en serre qu'on trouve un intérêt plus particulier aux biotechnologies. Par ailleurs, la Direction de la recherche scientifique et technique mène des recherches de type biotechnologique axées sur la valorisation de la production en pêcheries, en aquiculture et dans la tourbe.

Le ministère des Forêts du Québec participe aux projets de recherche concernant la valorisation de la biomasse avec d'autres partenaires (CRIQ, Forintek) et soutient financièrement les équipes de recherche universitaire spécialisées dans le domaine, telles que le Centre en biologie forestière de l'Université Laval et le Centre de recherche en sylvichimie de l'Outaouais.

Le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB) est fort actif dans le domaine de l'environnement. En effet, la biomasse dont le CQVB favorise la valorisation

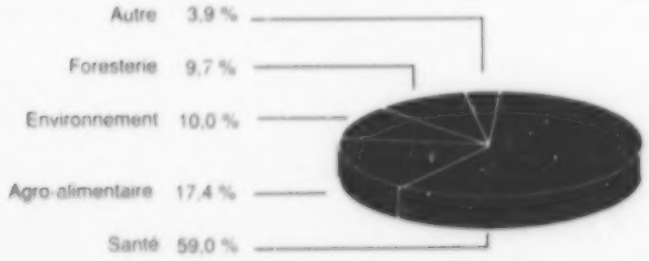
est en premier lieu d'origine agricole ou forestière, ou encore d'origine tourbeuse, urbaine ou aquatique. Le type de valorisation retenue est plus souvent biologique (63 % des projets retenus et en montage) que physico-chimique. Les technologies cibles les plus importantes de valorisation de la biomasse étaient les technologies biologiques de production de biomasse cellulaire (30 %) et de stabilisation par dégradation (21 %) et les technologies physico-chimiques de formulation et d'extraction (20 %).

Le CRIQ dispose d'infrastructures (fermenteurs), situées à Québec, permettant l'expérimentation de mise à l'échelle de procédés biotechnologiques ; il termine par ailleurs la construction d'une plate-forme d'expérimentation de procédés de traitement des eaux usées, infrastructure qui est annexée à l'usine de traitement des eaux de Beauport. Selon la nouvelle orientation du CRIQ, ces équipements lui permettent d'accueillir les entreprises désireuses d'expérimenter la mise à l'échelle des procédés biotechnologiques de traitement des eaux usées ou d'autres biomasses appropriées aux installations.

3.4 La recherche dans les entreprises

Pour ce qui est de la recherche développement industrielle (RDI) dans les entreprises, les données partielles de l'enquête du MICT (comprenant 44 entreprises employant 216 chercheurs en biotechnologie) ont été compilées par le Conseil. Il en ressort que la R-D, mesurée par le nombre d'emplois en recherche dans les entreprises, est concentrée dans le secteur de la santé (59 %) et de l'agro-alimentaire (17,4 %). Le secteur de l'environnement représente 10,7 %, la foresterie 10 %, et le secteur autre (consultation et instrumentation) 3,9 % (graphique 3.3). Le nombre total d'employés en biotechnologie selon les données partielles de l'enquête est de 390, dont 216 sont considérés comme faisant de la recherche.

Graphique 3.3 Répartition des personnes vouées aux recherches en biotechnologie dans les entreprises, Québec, 1991



Source : Enquête du ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie ; compilation du Conseil de la science et de la technologie.

En 1987, avec l'adoption de la nouvelle loi canadienne sur les brevets, l'industrie pharmaceutique s'est engagée à accroître sa recherche jusqu'à un niveau qui devrait atteindre 10 % de ses ventes en 1996. Selon des données récentes produites par l'Association canadienne de l'industrie du médicament (ACIM), ce pourcentage est déjà presque atteint au Québec, qui est maintenant en tête des provinces pour ce qui est des dépenses de l'industrie pharmaceutique en R-D. La majorité des grandes multinationales

pharmaceutiques sont présentes au Québec, et il existe également plusieurs entreprises pharmaceutiques québécoises qui sont engagées dans la recherche en biotechnologie, parmi lesquelles IAF Biochem International inc., IAF Biovac inc., Immunocorp Sciences inc. et Rougier inc.

La recherche industrielle en biotechnologie liée à l'agro-alimentaire est embryonnaire; elle vise surtout les processus de conditionnement ou de transformation alimentaire. Les entreprises du secteur de la transformation de produits alimentaires qui seraient les plus susceptibles de tirer parti des avantages que leur offrent les biotechnologies, en particulier les grandes coopératives agricoles, semblent encore très peu engagées dans la recherche utilisant des procédés biotechnologiques.

Dans le domaine de la foresterie, peu d'entreprises privées font de la recherche intra muros en biotechnologie; deux centres de recherche privés d'envergure internationale sont cependant actifs dans le secteur des pâtes et papiers. Il s'agit de l'Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers (PAPRICAN) et de Domtar. Leur recherche est surtout orientée vers les technologies de production de pâtes et papiers.

Le peu d'intérêt des entreprises pour la recherche visant l'amélioration des espèces végétales et le reboisement peut s'expliquer en partie par le peu de réglementation obligeant les entreprises forestières à se préoccuper de reboisement et de mise en valeur des espèces. La tendance à consentir des baux de courte durée aux exploitants forestiers ne favoriserait pas la régénération des forêts, car les entreprises ne sont pas intéressées à investir de l'argent qu'ils ne pourront rentabiliser.

Il s'ensuit que la recherche sur l'amélioration des espèces ligneuses, la sélection par le clonage des spécimens les plus robustes ainsi que les différentes recherches sur les modifications génétiques permettant de produire des arbres qui résistent aux champignons et aux insectes s'effectuent principalement dans les centres gouvernementaux et les universités.

En biotechnologie environnementale, plusieurs technologies sont disponibles, mais peu d'entreprises s'y sont intéressées.

En effet, une étude[28] commanditée en 1987 par les ministères fédéral et québécois de l'Environnement a fait le recensement des activités de recherche gouvernementales, universitaires et industrielles portant sur le développement de biotechnologies appliquées à l'environnement. Cette étude révèle que 30 % des procédés étudiés pouvaient être immédiatement utilisés à grande échelle, mais qu'aucun n'était effectivement utilisé. Ces techniques devaient servir pour les boues des usines d'épuration, les déchets municipaux et les substances toxiques. Les autres techniques (70 %) devaient être expérimentées *in situ* pour en étudier les problèmes de mise à l'échelle.

Depuis quelques années cependant, certaines firmes de génie-conseil, telles Gendron Lefebvre inc. ou le Groupe Teknika inc., et des firmes de plus petite taille, telles que ADS Associés inc., Aquarecherche ltée., Biogénie SRCC inc., ont commencé à développer des procédés, en particulier dans le secteur du traitement des rejets municipaux ou agricoles. Par exemple, le développement d'un biofiltre à base de tourbe destiné à l'épuration des eaux usées municipales et le traitement des boues résiduaires (sous-produit du traitement

28. Y. Pouliot et J. de la Noüe, *Biotechnologies environnementales au Québec, bilan et perspectives*, Québec, 1987.

des eaux usées) intéresse quelques entreprises. La société de recherche SNC inc. a mis au point un bioréacteur anaérobique pour traiter les effluents de l'industrie alimentaire. Enfin quelques grandes entreprises sont actives dans le développement de l'instrumentation et des procédés biotechnologiques, dont le Groupe Samvan – CET Services Environnementaux et également plusieurs petites firmes.

On trouve quelques entreprises de génie-conseil dans le traitement des déchets forestiers et dans la production de biomasse d'intérêt alimentaire : Bionov CNP inc., Biorex inc. De façon générale, au Québec, peu d'entreprises sont actives dans le secteur des biofertilisants mais on doit noter, parmi celles qui font de la recherche dans ce secteur, les Entreprises Premier CDN ltée, le principal producteur de tourbe à sphaignes au Québec, qui consacre plus d'un million de dollars par an à la recherche sur les biofertilisants. Cette entreprise a aussi mis au point un filtre à base de tourbe pour le traitement des eaux usées. Il faut signaler également les travaux du l'institut PAPRICAN sur la diminution des polluants à la source des entreprises papetières.

3.5 Le transfert technologique et les liaisons avec les entreprises

Au cours des années 80, les responsables de la recherche gouvernementale et universitaire ont fait des efforts pour promouvoir la recherche en biotechnologie et favoriser les contacts entre les chercheurs. Plus récemment, on a mis en place des actions de coordination entre les équipes de recherche, mais on a constaté qu'un seuil de développement serait vite atteint si on ne mettait pas davantage l'accent sur les relations entre les milieux de la recherche et les entreprises.

À ce sujet, certains intervenants soulignent les nombreux efforts pour susciter diverses formes de collaboration, sur les plans de la recherche, du développement et du transfert de connaissances, mais ils soulèvent tous, en particulier, le problème de la mise à l'échelle ou de l'expérimentation sur le terrain qui sous-tend le passage du savoir-faire de l'université ou des centres de recherche vers l'entreprise.

À cet égard, au Québec, des organismes comme le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB) et le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada ont développé des modèles de coopération entre les centres de recherche et les entreprises dont on peut s'inspirer pour lancer des initiatives dans d'autres domaines.

En effet, le partenariat est au cœur des activités du CQVB. Pour remplir sa mission de valorisation de la biomasse ce centre agit de deux façons, en stimulant les relations universités-entreprises et en finançant des activités de R.D, soit pour la consolidation de laboratoires de recherche ou la constitution de consortiums de recherche. Au cours de ses six premières années d'activité (1985-1991) il a permis, grâce à un mode de fonctionnement souple et innovateur, de consolider les équipes de chercheurs et de renouveler la stratégie de recherche dans le domaine de la biomasse. Même si parmi les 115 projets de R.D, mettant à contribution 67 partenaires externes, les projets faisant appel aux biotechnologies sont encore peu nombreux, le Centre a eu une influence décisive sur la mise au point de nouveaux produits dans ce domaine.

En plus de son rôle d'agent de transfert entre la recherche et l'entreprise, il a permis d'accroître les efforts de R.D dans les entreprises participantes. Son rôle a été très actif dans la diffusion de l'information scientifique et la production de documents de vulgarisa-

tion. Selon le rapport d'évaluation des activités de ce centre[29], on doit noter que même si la contribution des entreprises représente moins de 50 % du coût total dans 78 % des cas, celles-ci occupent la première place dans la réalisation des projets. 80 % des projets avec des partenaires industriels devant déboucher sur des phases de développement plus avancées d'ici trois ans, soit de mise à l'échelle ou même de commercialisation.

Un autre centre gouvernemental joue un rôle très actif en matière de partenariat pouvant mettre en application les résultats des recherches en biotechnologie. Il s'agit du Centre Saint-Laurent. Dans le cadre de la mise en oeuvre du Plan d'action Saint-Laurent, le Centre a mis en place plusieurs activités et mécanismes pour assurer la collaboration entre tous les partenaires. En particulier, le Centre collabore avec l'IRB au développement et à la démonstration de plusieurs biotechnologies liées à l'environnement. Comme le CQVB, ce Centre ne dispose pas de laboratoire mais finance des projets de R-D dans des entreprises et des universités engagées dans la mise au point de nouveaux procédés de décontamination ou de traitement de l'eau, du sol et des rejets industriels.

L'IRB doit également réaliser ses projets de R-D en collaboration très étroite avec l'industrie en vue de favoriser le développement industriel de produits issus des biotechnologies. Pour favoriser les activités de transfert, il dispose d'une usine-pilote et d'un équipement qui permettent une approche intégrée depuis les étapes initiales d'identification et d'analyse jusqu'au développement de bioprocédés et de leur mise à l'échelle. Depuis 1984, le centre a conclu 56 ententes de collaboration – contributions avec 32 entreprises actives oeuvrant dans l'un ou l'autre des domaines suivants: industrie pharmaceutique et produits vétérinaires, foresterie – pâtes et papiers, agriculture et alimentation, gestion des déchets, modélisation de procédés chimiques ou biologiques. Avec les universités, 36 ententes ont été conclues. Depuis 1988, en matière de licence d'exploitation, 37 ententes de confidentialité et 21 ententes de transfert de matériel biologique ont été signées avec une quarantaine d'entreprises ou d'organismes de recherche. Par ailleurs, les activités du Centre ont donné lieu au dépôt de 43 brevets au Canada, aux États-Unis et dans d'autres pays.

Les nouvelles orientations que le Centre national de recherches du Canada a confiées à ses laboratoires en matière de stratégie de recherche et de transfert devraient se traduire par une accentuation des interfaces entre la recherche et les entreprises. Ainsi, tel que l'indique son dernier plan d'affaires 1991-1992, l'IRB devrait mettre l'accent sur des projets de recherche communs à coûts partagés avec les entreprises et rendre accessibles l'expertise et les technologies par un accroissement du nombre d'accords contractuels avec des partenaires industriels et des ententes plus formelles avec les universités.

Du côté des universités, les bureaux de liaison universités-entreprises semblent prendre une part de plus en plus active sur ce plan des transferts en biotechnologie, s'appuyant sur des comités de coordination assez actifs comme à l'Université de Montréal et de McGill. À cette dernière université, le Centre de biotechnologie Sheldon constitue le principal lien avec l'entreprise privée. En s'appuyant sur une expérience d'une dizaine d'années, de collaborations et de contacts constants avec les entreprises, ce centre a développé des activités allant de la promotion des activités de recherche à la mise sur pied de programmes de formation, en plus d'offrir des services et des infrastructures spécialisés dans les divers domaines de recherche des biotechnologies.

---

29. *Rapport d'évaluation du CQVB*, février 1990.

3.6 Conclusion

La recherche en biotechnologie au Québec est diversifiée. Les universités concentrent leurs efforts pour les deux tiers dans des sujets liés à la santé (humaine et animale). Suivent ensuite l'agro-alimentaire, la foresterie et la biologie végétale ainsi que l'environnement.

Du côté des laboratoires et centres gouvernementaux fédéraux situés au Québec, l'IRB joue un rôle majeur dans le développement. Les autres centres de recherche fédéraux ne consacrent qu'une faible partie de leur activités aux recherches en biotechnologie, mais dans l'ensemble la contribution du gouvernement fédéral correspond à l'importance des domaines d'application : la santé d'abord et ensuite l'agro-alimentaire, la foresterie et l'environnement.

Le développement des biotechnologies se caractérise par une recherche pluridisciplinaire, par un rapprochement tangible entre les sciences de la vie et l'ingénierie et par une perspective mettant au premier plan l'exploitation industrielle et la mise en marché de produits et procédés. D'où l'importance du développement de masses critiques de chercheurs dans chaque formation disciplinaire propre aux biotechnologies. Il serait ainsi possible d'aborder des thématiques de recherche nécessitant une approche multidisciplinaire et associant concrètement les scientifiques et les ingénieurs aux problèmes que soulève, à l'heure actuelle, l'implantation des biotechnologies dans les divers secteurs d'activité.

C'est donc par des efforts soutenus des gouvernements pour maintenir et consolider les équipes de chercheurs au sein de structures plurisdisciplinaires que les biotechnologies ont des chances de se développer.

L'industrialisation des biotechnologies au Québec est encore jeune ; la main-d'oeuvre permettant de répondre aux besoins des industries devra alors s'adapter rapidement aux nouveaux processus et procédés industriels. C'est pourquoi tout devra être mis en oeuvre également pour favoriser les transferts des connaissances et du savoir faire des laboratoires universitaires ou publics vers l'industrie, de l'étape de la recherche précompétitive jusqu'à la mise à l'échelle et même la commercialisation.

Tableau 3.6 Principales unités actives en recherches en biotechnologie au Québec, 1991

	Santé	Agro-alim.	Forêt	Env.
Centres de recherche du gouvernement fédéral				
Institut de recherche en biotechnologie (CNRC)	S	A		E
Centre de recherche et de développement sur les aliments (Agriculture Canada)		A		
Laboratoire de pathologie vétérinaire (Agriculture Canada)	S			
Station de recherches : Sainte Foy (Agriculture Canada)		A		
Station de recherches : Lennoxville (Agriculture Canada)		A		
Station de recherches : Saint-Jean sur Richelieu (Agriculture Canada)		A		
Centre Saint Laurent (Environnement Canada)				E
Centre de foresterie des Laurentides (Forêts Canada)			F	E
Institut Maurice Lamontagne (Pêches et Océans Canada)		A		E

Tableau 3.6 Principales unités actives en recherches en biotechnologie au Québec, 1991 *(suite)*

	Santé	Agro-alim.	Forêt	Env.
Centres de recherche du gouvernement du Québec				
Direction de la recherche (Forêts)			F	
Direction du développement industriel (Forêts)			F	
Direction des politiques / Énergie (MER)			F	
Service de gestion et de contrôle des pesticides (MENVIQ)				E
Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ)		A		E
Service des technologies alimentaires (MAPAQ)		A		
Service de recherche en phytotechnie (MAPAQ)		A		
Direction recherche scientifique et technique – Pêche et agroalim. (MAPAQ)		A		
Université Laval				
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation				
Groupe de recherche sur les interactions plantes / pathogènes			F	
Centre de recherche en sciences et technologie du lait		A		
Chaire industrielle SEMEX-CRSNG		A		
Faculté de foresterie et de géomatique				
Centre de recherche en biologie forestière			F	
Laboratoire associé / Fermentation solide (associé au CQVB)		A		
Faculté des sciences et du génie				
Groupe de recherche en génétique moléculaire			F	
Faculté de médecine				
Groupe de recherche en écologie buccale	S			
Centre hospitalier de l'Université Laval	S			E
Centre de recherche en endocrinologie moléculaire (CHUL)	S			
Centre de recherche en cancérologie (Hôtel Dieu de Québec)	S			
Centre de recherche de l'Hôtel Dieu de Québec	S			
Centre de recherche Laval / Robert Giffard	S			
Centre de recherche en neurobiologie (Hôpital de l'Enfant-Jésus)	S			
Université McGill				
Centre de génétique humaine	S			
Centre du cancer de McGill	S			
Institut de parasitologie	S			
Centre d'études sur la reproduction	S			
Centre de recherche sur les cellules et les organes artificiels	S			
Centre de recherche sur les mécanismes endocriniens de McGill (Hôpital Royal Victoria)	S			
Centre sur les diagnostics monoclonaux	S			
Centre d'étude de la résistance de l'hôte (Hôpital général de Montréal)	S			
Centre de recherche en neuroscience	S			
Centre de génie des bioprocédés				E
Centre de recherches sur les biopesticides				E
Centre de phytobiologie moléculaire			F	
Chaire Shaver / CRSNG en biotechnologie avicole		A		

Tableau 3.6 Principales unités actives en recherches en biotechnologie au Québec, 1991 *(suite)*

	Santé	Agro-alim.	Forêt	Env.
Université de Montréal				
Faculté de médecine				
Groupe de recherche en biologie moléculaire de l'évolution	S			
Laboratoire de génétique moléculaire	S			
Laboratoire de microbiologie moléculaire	S			
Groupe de recherche en immunobiologie	S			
Laboratoire de neuroendocrinologie (Centre de recherche de l'hôpital Notre Dame)	S			
Centre de recherche pédiatrique (Centre de recherche de l'Hôpital Sainte-Justine)	S			
Centre de recherche en reproduction (Centre de recherche Maisonneuve-Rosemont)	S			
Centre de recherche de l'hôpital Sacré-Cœur	S			
Institut de recherches cliniques de Montréal	S			
Institut du cancer de Montréal	S			
Service de recherche et de développement (Société canadienne de la Croix Rouge)	S			
Faculté de médecine vétérinaire				
Centre de recherche en reproduction animale	S			
Centre de recherche sur les maladies bovines	S			
Groupe de recherche en maladies infectieuses du porc	S			
Laboratoire de bactériologie du poisson	S			
Faculté des arts et sciences				
Institut de recherche en biologie végétale			F	
École polytechnique				
Groupe de recherche en procédés biotechnologiques (Biopro)				E
Université du Québec				
Centre de recherche en pâtes et papiers (UQTR)			F	
Unité de recherche – développement forestier (UQAT)			F	
Centre de recherche en virologie (IAF)	S			E
Centre de recherche en microbiologie appliquée (IAF)	S			E
Centre de recherche en immunologie (IAF)	S			
Centre de recherche en sciences appliquées à l'alimentation (IAF)		A		
INRS-Santé	S			
INRS-Eau				E
Université de Sherbrooke				
Faculté de médecine				
Centre de recherche en immunobiologie	S			
Groupe de recherche et de formation en génétique moléculaire et en génie génétique	S			
Centre de recherche sur les mécanismes de sécrétion	S			
Faculté des sciences appliquées				
Laboratoire associé / matériaux ligno-cellulosiques (associé au CQVB)		A		

Source : Compilation du Conseil de la science et de la technologie.

Chapitre 4
Les ressources humaines

Les industries utilisant les biotechnologies exigent une main-d'œuvre fortement spécialisée et des plus compétentes. Dans les entreprises actives en biotechnologie aux États-Unis, le chef de file mondial dans ce domaine, au-delà de 20 % des employés ont un doctorat et plus de 75 % ont au moins un baccalauréat[30].

La main-d'œuvre qualifiée et hautement qualifiée des entreprises québécoises utilisant les biotechnologies doit également posséder une formation avancée. Selon une enquête en cours au ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie (MICT), 63 % du personnel en recherche travaillant dans les entreprises actives en biotechnologie au Québec possède au moins un baccalauréat.

Des besoins en main-d'œuvre

Cette même enquête révèle qu'au-delà de 50 % des entreprises ayant répondu à cette enquête prévoient des difficultés de recrutement au cours des cinq prochaines années, pour plusieurs catégories de professionnels. Ces difficultés sont liées à l'absence au Québec de certaines catégories de personnel. Mentionnons, à cet égard, les pénuries prévues de techniciens; des lacunes perçues dans certains programmes de formation, mises en évidence par l'intérêt plus marqué chez certains jeunes ingénieurs pour le théorique en comparaison des aspects techniques et pratiques de leur métier; finalement, et peut-être surtout, les difficultés des entreprises à recruter une main-d'œuvre possédant déjà une expérience de travail valable en biotechnologie.

Il est difficile de prévoir de façon précise l'ampleur des besoins en main-d'œuvre au Québec dans les prochaines années, à cause des fluctuations normales du marché et des difficultés de planification des besoins en ressources humaines dans les entreprises. Plusieurs études signalent l'imminence de pénuries, plus ou moins fortes, de chimistes, biochimistes et d'ingénieurs chimistes, par exemple, et d'autres groupes professionnels[31]. Rappelons, par contre, que souvent les inscriptions des étudiants suivent les tendances du marché et fournissent, avec un certain retard certes, une main-d'œuvre qualifiée de haut niveau.

---

30. G. Steven Burrill et Ernst & Young, *Biotech 90: Into the Next Decade*. New York, Mary Ann Liebert, Inc., publishers, 1989, p. 89.

31. *The Chemical Professions in Canada: Employment and Education for the Future*, Chemical Institute of Canada, 1991; *Besoins en compétences biotechnologiques de l'industrie de la santé humaine: 1988 à 2000*, McIntyre Engineering Consultants Ltd., août 1988; *Besoins futurs du Canada en personnel scientifique et technique hautement qualifié*, Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, 1989; *L'adaptation des entreprises aux nouvelles technologies*, Conseil de la science et de la technologie, 1990.

Un bassin de main-d'oeuvre en croissance

Le Québec jouit déjà d'un bassin de main d'oeuvre qualifiée et hautement qualifiée non négligeable dans les domaines liés aux biotechnologies. L'évolution des professions dans ces domaines a été positive au Québec au moins jusqu'en 1986, dernière année pour laquelle nous avons des informations. Le nombre de scientifiques, ingénieurs et techniciens par mille habitants dans les sciences de la vie, la chimie, le génie civil et le génie chimique a augmenté plus rapidement au Québec depuis 1971, réduisant ainsi le retard accusé sur l'Ontario et le reste du Canada (tableau 4.1).

Tableau 4.1 Scientifiques, ingénieurs et techniciens (sciences de la vie, chimie, génie civil, génie chimique) par 1000 habitants, 1971, 1981, 1986, Québec, Ontario, Canada

	1971		1981		1986	
	Nombre	**Ratio**	**Nombre**	**Ratio**	**Nombre**	**Ratio**
Québec	11 855	**1,97**	16 365	**2,54**	18 420	**2,82**
Ontario	20 295	**2,63**	25 955	**3,01**	28 045	**3,08**
Canada	51 160	**2,37**	75 265	**3,09**	80 100	**3,16**

Source : Statistique Canada.

4.1 La disponibilité d'une main-d'oeuvre qualifiée

La diplomation et les inscriptions au premier cycle universitaire montrent actuellement des signes d'essoufflement. Entre 1985-1986 et 1989-1990 au Québec, les inscriptions par tranche de population augmentent moins vite au premier cycle qu'aux cycles supérieurs dans les champs les plus directement reliés aux biotechnologies (tableau 4.2). Le Québec, tout comme l'Ontario et l'ensemble du Canada, connaît un arrêt de croissance à ce chapitre. On ne prévoit pas de revirement dans l'immédiat, au Québec à tout le moins[32].

On doit redouter les effets à moyen terme aux cycles supérieurs de la diminution des cohortes du premier cycle. Déjà la diplomation par tranche de 100 000 habitants démontre un taux de croissance moindre au Québec au premier cycle qu'aux deux autres cycles, entre 1985-1986 et 1989-1990. En termes absolus, entre 1986 et 1990, le nombre de diplômés de premier cycle dans les disciplines liées aux biotechnologies est passé de 2 724 à 3 073 au Québec.

La situation aux deuxième et troisième cycles est plus intéressante. Les inscriptions et le nombre de diplômés dans les disciplines liées aux biotechnologies continuent à augmenter de façon élevée[33]. Cette situation ne pourra pas se maintenir cependant à cause de l'essoufflement des inscriptions au premier cycle.

32. Les données du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science indiquent pour 1990-1991 une diminution des inscriptions comparativement à celles de 1988-1989.

33. Ici, encore, les données pour 1990-1991 du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science confirmeraient cette tendance.

Tableau 4.2 Inscriptions plein temps par 100 000 habitants dans les disciplines liées aux biotechnologies, Québec, Ontario, Canada, 1985-1986 à 1989-1990

		85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	Δ 85-86/ 89-90
Québec	Baccalauréat	179	186	182	184	179	**0 %**
	Maîtrise	22	23	23	23	24	**9 %**
	Doctorat	14	16	17	18	19	**37 %**
Ontario	Baccalauréat	191	188	191	193	188	**- 2 %**
	Maîtrise	21	21	21	22	21	**0 %**
	Doctorat	16	15	16	17	18	**15 %**
Canada	Baccalauréat	180	182	181	181	177	**- 1 %**
	Maîtrise	21	21	21	21	21	**1 %**
	Doctorat	15	16	17	18	18	**15 %**

Note : Les disciplines liées aux biotechnologies, aux fins de ce tableau, sont : l'agriculture et les sciences biologiques, le génie chimique, le génie civil, la foresterie, la chimie, la médecine et la pharmacie.

Sources : Statistique Canada ; compilation du Conseil de la science et de la technologie.

La diplomation : des forces et des faiblesses selon les disciplines

Le nombre de diplômés ne se répartit pas également entre les diverses disciplines. Le tableau 4.3 donne un aperçu par discipline des diplômés qui constituent le bassin potentiel de scientifiques aptes à travailler en biotechnologie. Ce bassin est important : près de 3 000 baccalauréats, plus de 500 maîtrises et au-delà de 200 doctorats sont accordés en moyenne chaque année.

Tableau 4.3 Diplomation dans les disciplines pertinentes liées aux biotechnologies, aux trois cycles universitaires, durant la période 1986-1990, Québec

	Diplômes (moyenne annuelle)		
	Baccalauréat	**Maîtrise**	**Doctorat**
Biochimie	282	6	11
Chimie	210	54	37
Biologie	701	93	22
Génie chimique	152	42	16
Génie civil	259	81	14
Agriculture	208	58	17
Botanique	1	0	0
Foresterie	83	20	8
Autres sc. biol., agric.	12	7	2
Médecine vétérinaire	71	14	0
Zoologie	4	2	1
Médecine	784	148	77
Pharmacie	196	7	2
Total	**2 963**	**532**	**207**

Source : Statistique Canada.

Plusieurs disciplines sont bien représentées : la médecine, la biologie, la biochimie et la chimie, l'agriculture, le génie chimique et civil et la pharmacie. Signalons, toutefois, l'absence presque totale de diplômés en botanique et la très faible production de diplômés en zoologie, et ce aux trois cycles. Ce dernier cas, ainsi que l'absence de doctorats en médecine vétérinaire, ne favorise certes pas le développement des biotechnologies en santé animale. Pour avoir une meilleure idée de nos forces et de nos faiblesses, il est intéressant de rapporter cette diplomation à la population et de la comparer à celle de l'Ontario et de l'ensemble du Canada (tableau 4.4).

Tableau 4.4 Diplomation par million d'habitants dans les disciplines pertinentes liées aux biotechnologies, aux trois cycles universitaires, moyenne annuelle 1986-1990, Québec, Ontario, Canada

	Baccalauréat			Maîtrise			Doctorat		
	Qué.	Ont.	Can.	Qué.	Ont.	Can.	Qué.	Ont.	Can.
Biochimie	43	26	29	1	2	1	2	1	1
Chimie	32	45	37	8	8	7	6	7	7
Biologie	105	171	141	14	11	11	3	4	4
Sous-total	**180**	**242**	**206**	**23**	**21**	**20**	**10**	**13**	**13**
Génie chimique	23	35	26	6	8	6	2	2	2
Génie civil	39	42	39	12	11	12	2	2	2
Sous-total	**62**	**77**	**65**	**19**	**19**	**18**	**5**	**5**	**4**
Agriculture	31	18	29	9	7	8	3	3	3
Foresterie	12	8	12	3	2	3	1.3	0.3	0.6
Botanique	0.2	0.7	1.3	0.0	1.9	1.0	0.0	0.9	0.6
Autres sc. biol., agric.	2	7	3	1.0	0.2	0.5	0.4	0.1	0.2
Sous-total	**46**	**33**	**45**	**13**	**11**	**12**	**4**	**4**	**5**
Méd. vétérinaire	11	12	10	2	2	2	0.0	1.6	0.7
Zoologie	1	8	11	0.4	4.5	3.2	0.1	1.9	1.4
Sous-total	**11**	**21**	**21**	**2**	**7**	**5**	**0**	**3**	**2**
Total partiel	**298**	**373**	**337**	**57**	**57**	**55**	**19**	**25**	**23**
Médecine	118	71	86	22	18	16	12	8	8
Pharmacie	29	16	28	1.1	0.4	0.9	0.3	0.2	0.6
Sous-total	147	87	113	23	19	17	12	8	9
Total	**446**	**460**	**451**	**80**	**76**	**72**	**31**	**33**	**32**

Sources : Statistique Canada ; compilation du Conseil de la science et de la technologie.

Deux disciplines au Québec, la médecine et la foresterie, ont une diplomation par tranche de population supérieure à l'Ontario et au Canada à tous les cycles. Quelques autres disciplines se comparent avantageusement au reste du Canada dans deux cycles, comme la biochimie, l'agriculture et la pharmacie.

Dans l'ensemble, les données illustrent une performance québécoise relativement bonne en matière de formation dans les disciplines pertinentes, soit en moyenne 446 baccalauréats annuellement par million d'habitants, 80 maîtrises (une production plus forte que l'Ontario et que l'ensemble du Canada) et 31 doctorats (juste un peu derrière l'ensemble du Canada et l'Ontario) et ce, au cours des cinq dernières années. Cette performance se fonde cependant pour une grande part sur la force du Québec en matière de formation en médecine.

Cependant, en excluant les disciplines de la santé du nombre des baccalauréats, le Québec se place loin derrière la moyenne canadienne, avec 298 baccalauréats en moyenne annuellement contre 337. L'Ontario connaît un nombre annuel moyen de diplômés comparable de 373 baccalauréats. Cet écart provient surtout des carences de la diplomation québécoise en biologie et en zoologie. En chimie et en génie chimique le Québec accuse aussi quelque retard sur l'Ontario. Signalons, par ailleurs, les forces du Québec en matière de diplomation en biochimie et en agriculture.

La diplomation québécoise en médecine aux deuxième et troisième cycles est forte aussi, avec un taux de diplomation supérieur à celui de l'Ontario ou de l'ensemble du Canada. Pour ce qui est des maîtrises dans les disciplines autres que celles de la santé, le Québec se compare bien à l'Ontario. En ce qui a trait au doctorat, le Québec connaît un taux de diplomation un peu moindre que les taux ontarien et canadien dans les disciplines liées aux biotechnologies, à l'exception des sciences de la santé. Signalons, par ailleurs, qu'en biochimie la diplomation aux deuxième et troisième cycles est beaucoup plus faible qu'au premier cycle, comparativement aux autres disciplines scientifiques. Une situation similaire se retrouve en biologie au troisième cycle. L'importance de ces disciplines pour les biotechnologies est pourtant reconnue, ce qui porte à réfléchir pour le moyen et le long terme.

La relève des techniciens : matière à inquiétude

En ce qui concerne la disponibilité de techniciens formés aux biotechnologies, on constate une tendance à la baisse du nombre de diplômés du programme offrant la formation la plus substantielle en matière de biotechnologies au collégial, soit le DEC professionnel en *Techniques de chimie-biologie*. Le nombre annuel de diplômés est de 70 environ actuellement.

Les inscriptions à ce programme, *Techniques de chimie-biologie*, sont aussi à la baisse et ont chuté de moitié entre 1987 (323) et 1990 (150)[34]. Deux cégeps ont d'ailleurs refusé récemment les inscriptions en première année en *Techniques de chimie-biologie* à cause de l'effectif trop faible[35]. Par ailleurs, une récente hausse des inscriptions au collégial, à l'automne 1991, dans les programmes de formation professionnelle s'est manifestée. Ainsi, la baisse des inscriptions totales, qui se poursuit, est partiellement compensée par cette hausse des nouvelles inscriptions et ce, selon les premières données partielles.

4.2 La formation dans les disciplines liées aux biotechnologies

On sait que la formation en biotechnologie s'est beaucoup renforcée au cours des années 80. Cela est dû, premièrement, à la progression régulière des programmes disciplinaires traditionnels qui sont le fondement de toute formation de la main-d'oeuvre spécialisée en biotechnologie. On voit en effet une plus grande attention aux biotechnologies et le souci de les faire connaître et de les enseigner à tous les niveaux des études postsecondaires.

---

34. Les inscriptions totales (données préliminaires) pour 1991 se chiffreraient à 129 seulement. Les données de 1987 à 1990 proviennent de la Direction générale de l'enseignement collégial, celles de 1991 des cégeps concernés.

35. Le Cégep Lionel-Groulx depuis 1989 et le Cégep de Shawinigan depuis 1990.

Deuxièmement, des études portant spécifiquement sur les biotechnologies ont, au cours de la dernière décennie, amené la création de programmes et le renforcement de programmes déjà existants voués à l'enseignement particulier des biotechnologies. On a ainsi vu les milieux collégiaux[36] déboucher sur un renforcement significatif de l'enseignement des biotechnologies.

Un enseignement universitaire de qualité

Le Conseil des universités invitait en 1984 les universités à renforcer les programmes disciplinaires traditionnels sur le plan des biotechnologies[37]. On signalait alors l'importance de la formation disciplinaire de base ainsi que l'ouverture des programmes disciplinaires, afin que ces programmes puissent servir de tremplin à la formation en biotechnologie, notamment, au premier cycle, en favorisant l'interaction entre les sciences et l'ingénierie et, aux cycles supérieurs, en favorisant l'interdisciplinarité et en associant la formation à l'expérience pratique de la recherche au sein d'équipes de haut niveau d'expertise.

L'orientation que proposait le Conseil des universités en 1984, et qu'ont suivie dans une grande mesure les universités québécoises, va dans le même sens que celle de la majorité des autres nations. On reconnaît que les biotechnologies ne constituent pas une discipline en soi. De nombreux pays membres de l'OCDE ont amorcé au cours des années 80 une réorientation des programmes traditionnels en vue d'y introduire une plus grande interdisciplinarité, notamment par la création de programmes interdisciplinaires spéciaux ou par l'organisation de diverses formules de formation continue[38].

On constate de nets progrès, depuis 1984, en matière de sensibilisation des étudiants au développement des biotechnologies, dans les programmes de formation disciplinaire. Environ une trentaine de cours traitant des biotechnologies[39] sont présentement donnés dans les universités du Québec, dont une vingtaine seraient nouveaux[40] par leur titre et leur sigle. Ces cours se retrouvent principalement dans les programmes de baccalauréat en biologie, en microbiologie, en biochimie et en génie chimique, et ils font également partie de la formation dans quelques programmes de baccalauréat en sciences appliquées. De plus, certains programmes de baccalauréat en biochimie, en chimie, en biologie et en microbiologie comprennent actuellement un ou quelques cours en génie.

---

36. Voir Cégep de Shawinigan, *Biotechnologies. Formation au niveau collégial*, Shawinigan, décembre 1984; Comité de développement des biotechnologies du Cégep de Sainte-Foy, *Rapport synthèse. Enquête sur le domaine des biotechnologies*, Québec, mai 1986.

37. *Avis du Conseil des universités au ministre de l'Éducation sur la formation en biotechnologie*, Avis n° 84.5, Sainte-Foy, octobre 1984.

38. OCDE, *Biotechnologie : Évolution du rôle des pouvoirs publics*, 1988, p. 54 ss.

39. Au premier cycle, la formation axée sur la discipline comporte un certain nombre de cours obligatoires qui se doivent d'être complétés par des cours dits optionnels ou libres offerts à l'intérieur du programme disciplinaire ou encore hors programme, hors département, hors faculté. Les cours optionnels complémentent généralement la perspective offerte par la discipline. La sensibilisation aux biotechnologies s'effectue, de façon générale, dans le cadre de ces cours dits optionnels ou libres.

40. Cours nouveaux comparés à la situation décrite avec détail dans le *Rapport du Comité sur la formation en biotechnologie*, Conseil des universités, 1984.

Accroître les interactions entre les disciplines de base

Cependant, on peut observer que les interactions entre les programmes de génie et ceux des sciences biologiques sont, dans l'ensemble, encore ténues. Parmi les sciences de la vie, c'est la microbiologie qui est la plus présente dans les programmes de génie, dont le génie chimique. Cela semble tenir surtout à l'existence de nombreux programmes d'ingénierie orientés vers l'environnement. Les sciences de la vie gagneront à être plus présentes dans les programmes d'études en génie chimique ou en génie civil, qui sont les disciplines du génie les plus pertinentes par rapport aux biotechnologies.

Dès 1984, les universités du Québec avaient fait état de leur volonté d'élargir plusieurs de leurs programmes des deuxième et troisième cycles pour y faire une place plus grande aux biotechnologies et à leur processus d'industrialisation. En effet, dans l'ensemble du réseau universitaire, les programmes de ces deux cycles comportent une soixantaine de cours en biotechnologie dont environ 80 % sont des cours nouveaux par rapport aux données de 1984. L'accessibilité aux cours des deuxième et troisième cycles pour les étudiants inscrits dans des programmes de sciences ou de génie est plus grande et plus flexible que par le passé. Cependant, l'ouverture proprement dite aux diverses disciplines des sciences et du génie par une approche expérimentale intégrée demeure un enjeu à réaliser.

Des programmes de formation en biotechnologie

Outre ces ouvertures des programmes disciplinaires aux biotechnologies, on observe dans certaines universités des programmes fortement orientés vers la formation en biotechnologie. En effet, deux programmes de baccalauréat avec concentration en biotechnologie ont été mis en place depuis 1984. Il s'agit du programme de baccalauréat en biologie avec concentration en biotechnologie de l'Université de Sherbrooke (1984) et du programme de mineure en biotechnologie de l'Université McGill (1984). Par ailleurs, entre 1984 et 1986, l'École Polytechnique, l'Université du Québec par l'UQAR et l'UQAM et l'Université de Montréal insérèrent chacune dans leur programmation de baccalauréat une orientation en biotechnologie. Chaque année, en moyenne, on voit une cinquantaine de diplômés sortir de ces programmes. Mentionnons, de plus, la création de deux programmes de certificat, l'un en génie génétique, à l'Université Laval (1983), et l'autre plus récent en biotechnologie, à l'Université de Montréal (1988).

Enfin, au collégial, le programme *Techniques de chimie-biologie*, rattaché au secteur professionnel des Techniques de chimie industrielle, est le programme professionnel qui concerne le plus les biotechnologies[41]. Plus de 33 % des cours de spécialisation de ce programme se rapportent à la biotechnologie, soit aux techniques biotechnologiques, soit aux domaines d'application de ces techniques. Des stages sont également obligatoires dans les laboratoires industriels, gouvernementaux ou de recherche.

41. Au total, neuf programmes de formation professionnelle, répartis dans cinq secteurs professionnels, offrent des cours d'introduction aux biotechnologies : dans le secteur *Techniques médicales*, le programme *Techniques d'inventaire et de recherche en biologie* (créé ou mis à jour en 1988) ; dans le secteur *Milieu naturel*, *Techniques du milieu naturel : Option laboratoire de biologie* (1986) ; dans *Techniques agricoles*, *Technologie alimentaire : contrôle de la qualité et développement* (1990), *Technologie alimentaire : produits laitiers* (1990), *Technologie alimentaire : production* (1990), dans *Techniques de chimie industrielle*, *Techniques de génie chimique* (1986), *Techniques de chimie-biologie* (1990) ; et dans *Techniques de l'eau, de l'air et de l'assainissement*, *Assainissement de l'eau* (1988) et *Assainissement et sécurité industriels* (1990).

Ce programme, mis en place en 1987, semble bien répondre aux besoins des entreprises puisque la grande majorité des diplômés trouvent rapidement un emploi en rapport avec leur formation. Les données sur l'emploi des diplômés de 1989 en *Techniques de chimie-biologie* indiquent qu'au 31 mars 1990, des 54 répondants parmi les 68 diplômés, 85 % occupaient un emploi, après une recherche de huit semaines en moyenne. La presque totalité des emplois, soit 93 %, sont à temps plein, dont 9 sur 10 seraient liés de près à la formation reçue. Le taux de chômage parmi les répondants est de 2 % et donc inférieur au 5 % observé chez les 30 diplômés en *Techniques de chimie analytique* ayant répondu à l'enquête.

Formation continue et perfectionnement

La formation continue et le perfectionnement des personnes en emploi doivent être renforcés considérablement. En effet, ils contribuent à assurer une main-d'oeuvre de qualité, condition essentielle à la productivité des entreprises. Il est généralement accepté au Canada, et encore davantage au Québec, que la formation continue fait peu partie des us et coutumes. Ces activités sont pourtant des plus pertinentes dans le cas d'une industrie de «haute technologie» comme les biotechnologies pour assurer le développement de l'entreprise.

Signalons, à ce propos, que les connaissances et les savoir-faire nouveaux en matière de biotechnologie s'appliquent à des activités industrielles de pointe, mais aussi à certaines activités industrielles plus traditionnelles. La formation continue prend une importance primordiale dans ce contexte.

Les inscriptions nombreuses aux certificats des universités de Montréal et de Laval, par exemple (au-delà de 200 dossiers actifs), constituent une marque éloquente de l'intérêt que revêtent les biotechnologies en matière de formation continue. Le secteur privé offre aussi un nombre grandissant de possibilités de perfectionnement, particulièrement en ce qui a trait à l'utilisation de l'équipement spécialisé en appui au développement des biotechnologies[42].

4.3 Conclusion

La formation en biotechnologie s'acquiert dans les disciplines de base, c'est-à-dire les disciplines des sciences de la vie, la chimie et le génie ; c'est en maintenant un enseignement de qualité dans ces disciplines qu'on assure la disponibilité d'une main-d'oeuvre qualifiée en biotechnologie. Cependant, les biotechnologies étant de nature pluridisciplinaire, elles exigent une interaction entre ces différents domaines de formation ; interaction sur le plan de la recherche, bien sûr, mais aussi sur le plan de la formation en permettant à chacune des formations disciplinaires un enseignement sur les problématiques systémiques et pluridisciplinaires que posent les biotechnologies.

C'est essentiellement ce que recommandait en 1984 le Conseil des universités[43]. Depuis cet avis on constate des progrès certains en ce qui concerne la sensibilisation aux biotechnologies dans les formations disciplinaires. Plusieurs cours ont été mis en place afin de sensibiliser les étudiants à la problématique spécifique des biotechnologies.

42. *La relance au collégial*.
43. *Avis du Conseil des universités au ministre de l'Éducation sur la formation en biotechnologie, op. cit.*

Cependant, le développement industriel des biotechnologies exige le renforcement des interactions entre les sciences de la vie et les disciplines du génie. Il faut encourager chez les étudiants et les enseignants une ouverture aux autres disciplines, la familiarisation avec les approches multidisciplinaires pour la résolution de problèmes et une meilleure connaissance des processus industriels.

En matière de diplomation, on constate que le Québec accorde en moyenne annuelle 2 963 baccalauréats, 532 maîtrises et 207 doctorats dans les disciplines liées aux biotechnologies. Cela se compare bien à ce qui se fait au Canada; le Québec produit proportionnellement plus de professionnels dans les domaines de la santé qu'ailleurs au Canada, mais on observe une carence relative en ce qui concerne le nombre de diplômés dans les domaines de la santé animale et de la biologie.

La croissance des inscriptions au premier cycle dans l'ensemble des disciplines liées aux biotechnologies ralentit si bien qu'on peut craindre des répercussions sur la diplomation aux deuxième et troisième cycles dans les années à venir.

Au collégial, il y a une baisse d'effectif dans le programme de chimie-biologie, alors que la demande est élevée et qu'elle le sera probablement encore plus dans les prochaines années.

Il est important de favoriser le rapprochement des milieux de l'enseignement supérieur et des entreprises, afin que s'articulent des stratégies nouvelles visant à répondre aux besoins des entreprises en matière d'implantation, d'utilisation et d'industrialisation des biotechnologies.

Outre les stages en entreprise, formule expérimentée et valable, la poursuite de l'ouverture interdisciplinaire entre les programmes de génie et des biosciences pourrait servir cet objectif. On aiderait ainsi à développer chez les jeunes des attitudes et des habiletés propres aux problèmes que soulèvent l'implantation et l'utilisation des biotechnologies en milieu industriel. On faciliterait plus tôt le travail en équipe, scientifiques et ingénieurs réunis, autour de thématiques multidisciplinaires.

Il est opportun aussi de rappeler la responsabilité conséquente qu'a l'entreprise de maintenir une formation et un perfectionnement continus pour les employés qualifiés et hautement qualifiés. Finalement, certains signes d'essoufflement au chapitre des inscriptions dans les disciplines scientifiques et d'ingénierie portent à réfléchir. Il y aurait des changements d'attitudes importants à effectuer en vue de revaloriser la formation professionnelle, afin de garantir un bassin de main-d'oeuvre de ce niveau de formation. Des efforts doivent être maintenus pour qu'on continue à signaler l'importance des carrières scientifiques et techniques pour le développement économique et social du Québec.

Chapitre 5
Les politiques gouvernementales

5.1 Sur le plan international

Les pouvoirs publics sont des acteurs importants à plus d'un titre dans la dynamique d'évolution des biotechnologies. Ils contribuent directement à l'émergence et à l'essor des biotechnologies par leur rôle de soutien au développement de la recherche et de l'industrie, et en tant qu'acheteurs de technologies. Ils ont aussi un effet indirect, par leur pouvoir de réglementation qui peut tantôt encourager, tantôt freiner le développement, l'implantation et l'utilisation des biotechnologies. Ce dernier aspect sera traité dans la section suivante.

Depuis le début des années 80 (dès 1972 en Allemagne et 1973 au Japon)[44], la plupart des pays industrialisés ont désigné le champ des biotechnologies comme priorité nationale dans leurs stratégies de développement technologique. Les ressources investies par les gouvernements et les moyens mis en oeuvre diffèrent cependant selon la taille, le type d'infrastructure industrielle et la culture politique (interventionniste ou non) de chaque pays.

Les États-Unis

Les États-Unis continuent d'assumer un leadership mondial en biotechnologie, avec un effectif de recherche estimé à quelque 25 000 personnes et des dépenses fédérales de l'ordre de 3,4 milliards de dollars en 1991. Une part substantielle de ces dépenses vont aux activités intra- et extra-muros des agences gouvernementales telles que les National Institutes of Health (NIH), ce qui explique que le secteur de recherche de loin le plus favorisé en termes financiers soit celui de la santé (69 % des dépenses en 1990). Le secteur agricole occupe également une place importante, grâce surtout au Département de l'agriculture (84 millions en 1988) et à l'Agency for International Development (43,7 millions en 1988). Le financement de la recherche fondamentale en biotechnologie dans les universités est assuré principalement par la National Science Foundation (NSF) (près d'une centaine de millions en 1988). Le projet américain le plus prestigieux demeure le *Projet du génome humain*, qui, comme nous l'avons dit, vise à réaliser la cartographie et le séquençage des bases génétiques de l'espèce humaine. Cofinancé par le Département de l'énergie et les NIH, cette vaste initiative devrait mobiliser un budget de l'ordre de 3 milliards sur 12 à 15 ans.

Le gouvernement américain s'est montré réticent, au cours des dernières années, à intervenir directement dans l'orientation de l'innovation industrielle. D'où le peu de mesures pour stimuler spécifiquement le développement des industries utilisant ou développant les biotechnologies. Des dispositions fiscales, par exemple, sont prévues pour

44. Cette section s'inspire principalement de l'étude réalisée pour le Conseil de la science et de la technologie par Camille Limoges, Évelyne Fortin et Dominique Charron, *Les politiques nationales pour le soutien et pour la régulation des biotechnologies dans huit pays industrialisés et dans la Communauté économique européenne*.

réduire le taux d'imposition sur les gains de capital des entreprises de biotechnologie. De façon générale cependant, l'aide gouvernementale américaine est plus «générique» que dans la plupart des autres pays qui ciblent leurs interventions sur des secteurs ou des technologies prioritaires. Mentionnons le *Small Business Innovation Research Program* qui assigne à chaque agence américaine la responsabilité de consacrer un certain pourcentage de son budget de R-D à des entreprises (impartition): en 1988, environ 12 millions ont été affectés au titre du soutien à des projets de biotechnologie.

De nombreux efforts visent à faciliter les transferts de connaissances et de technologies des laboratoires publics ou universitaires vers les entreprises. Plus de 400 ententes de coopérations en R-D étaient en vigueur au début de l'année 1991, en vertu du *Technology Transfer Act*. La NSF administre pour sa part un programme de soutien à des centres de recherche en ingénierie et à des centres de science et de technologie qui ont des missions de R-D, notamment en biotechnologie, mais aussi de transfert des connaissances et des technologies vers l'industrie. Les entreprises participent au financement de ces centres. Le marché du capital de risque privé joue ici un rôle très important dans la formation d'alliances stratégiques. Enfin, de nouvelles initiatives gouvernementales sont à prévoir pour adoucir notamment la législation antitrust, qui a des effets particulièrement contraignants dans les industries utilisant ou développant les biotechnologies, et pour soutenir la recherche portant sur la mise à l'échelle des produits développés.

Après les États-Unis, ce sont le Japon, la France et l'Allemagne qui consacrent le plus de ressources au développement des biotechnologies. Il est difficile d'être plus précis, faute de bases de calcul homogène, mais une première estimation situerait le niveau de dépenses de chacun de ces trois pays entre 400 et 600 millions de dollars par année. Dans les trois cas, l'État s'érige en partenaire majeur d'une infrastructure industrielle puissante et intervient directement dans la détermination des orientations de recherche et la constitution de partenariats stratégiques.

Le Japon

Au Japon, le célèbre ministère du Commerce international et de l'Industrie (MITI) joue un rôle moteur auprès des entreprises en suscitant la formation de consortiums industriels et financiers autour de programmes de recherche et d'innovation spécialement prometteurs. Il peut compter sur un réservoir quasi-inépuisable d'entreprises: on estime à 800 le nombre de celles qui se spécialisaient en biotechnologie en 1990, et à un milliard le montant de leurs dépenses en R-D. Dès 1981, le MITI annonçait un programme de 110 millions sur 10 ans, autour de trois priorités: le développement de bioréacteurs, les applications de l'ADNr dans les procédés industriels et les cultures cellulaires à grande échelle. Il s'est lancé par la suite dans la transformation de la biomasse à des fins énergétiques (7 millions par année), dans les biotechnologies marines et, maintenant, de façon de plus en plus poussée, dans les biotechnologies environnementales.

Dans le domaine de la santé, des recherches de pointe sont menées en oncologie (trousses diagnostiques, vaccins) et en neurobiologie (comportement sur le plan électrolytique, modélisation et mécanismes fonctionnels). Un financement de quelque 80 millions, mettant à contribution une soixantaine de sociétés industrielles, est prévu, par exemple, pour le nouvel Institut de recherche pour les technologies de la Terre, qui travaillera notamment au développement de produits de substitution pour les CFC et à la mise au point de plastiques biodégradables. En parallèle aux efforts du MITI, il faut signaler ceux de l'Agence pour la science et la technologie (AST), qui sert de secrétariat à l'organisme coordonnateur de la politique scientifique japonaise, le Conseil de la science. Le quart du financement

gouvernemental (plus de 100 millions par année) va aux projets pilotés par l'AST, notamment dans les domaines du génie génétique à applications médicales, de la synthèse des protéines et du développement de bioréacteurs.

La France et l'Allemagne

Le développement des industries utilisant ou développant les biotechnologies en France a été marqué par la tradition centralisatrice qui caractérise l'intervention gouvernementale dans ce pays. Il faut noter qu'une partie des firmes actives dans le domaine appartiennent en tout en en partie à l'État (Rhône-Poulenc, Pechiney...). Le financement privé en R-D est estimé à quelque 300 millions, tandis que certaines estimations font état d'un financement public de quelque 1,5 milliard entre 1986 et 1988. Au centre de cet effort étatique, on trouve le Programme mobilisateur «Essor des biotechnologies» du ministère de la Recherche et de la Technologie (1982). Ce programme, qui est en fait un grand plan d'action pluriannuel, est axé sur le développement de pôles prometteurs, la collaboration universités-entreprises, la mobilisation d'autres ministères (Santé, Agriculture...) et celle d'instituts ou centres de recherche publics (INSERM, INRA, CNRS...).

Contrairement aux pays qui pratiquent une approche plus libérale, la France cherche à orienter le développement des innovations en cernant de façon relativement pointue des créneaux de production prometteurs. Notons que les cibles de l'intervention ont été révisées, à la suite d'une évaluation du programme après trois ans. Une attention particulière est portée à la formation d'immunologistes et de microbiologistes industriels.

Il y a maintenant vingt ans que les biotechnologies font partie des priorités de développement scientifique et technologique en Allemagne. Bien qu'il soit apparemment moins centralisateur que la France, le gouvernement fédéral de l'Allemagne intervient de façon assez marquée dans le domaine des biotechnologies, par le financement de projets de recherche fondamentale et appliquée, différentes mesures incitatives de liaisons universités-entreprises ainsi que des programmes de soutien à l'innovation industrielle. Il s'est préoccupé aussi de déterminer des axes privilégiés de développement, en 1984, dans le «Programme national sur la biologie appliquée et la biotechnologie», puis en 1990, dans le «Programme Biotechnologie 2000».

Le gouvernement allemand se propose d'investir entre 165 et 180 millions par année dans ses créneaux prioritaires (bioréacteurs, environnement, neurobiologie...), de concert avec les Länder, qui financent des programmes de soutien à la recherche fondamentale dans les universités, et avec les entreprises qui sont responsables de 61 % de l'effort national de R-D. Comme en France, l'Allemagne met en outre à la disposition des industries utilisant les biotechnologies plusieurs programmes d'aide plus généraux.

Autres pays

Des pays de moindre taille que les quatre précédents se sont également lancés, à des degrés divers, dans l'aventure des biotechnologies. Si certains se montrent réticents à intervenir dans l'innovation industrielle et se contentent de financer la recherche universitaire dans le domaine (environ 10 millions par an pour la Suisse), nombreux sont ceux qui ont choisi d'appliquer une stratégie sélective de soutien au développement de créneaux particuliers où les bases de recherche et d'industries existantes fournissent un avantage concurrentiel intéressant. C'est le cas du Danemark (20 millions de dollars par année), de

la Suède, des Pays-Bas (40 millions de dollars) ou de l'Australie. Les modalités d'intervention varient d'un pays à l'autre.

En Australie, le recours aux mesures fiscales semble dominer. C'est par l'instauration d'un climat favorable à l'investissement industriel en R-D que l'on souhaite voir progresser les industries utilisant ou développant les biotechnologies. Dans les Pays-Bas, plus de la moitié des crédits consacrés annuellement aux biotechnologies transitent par le «Programme orienté vers l'innovation en biotechnologie» (IOPB), créé en 1982, qui comprend plusieurs volets intégrés d'aide directe, couvrant tout le spectre de la R-D et de l'innovation industrielle. Ce programme semble agir comme un levier auprès des autres sources de financement. On a estimé qu'entre 1982 et 1990 les sommes investies par l'IOPB avaient engendré des dépenses totales cinq fois plus élevées en biotechnologie aux Pays-Bas. Le programme présente en outre l'originalité d'être géré par une organisation indépendante, l'Institut central pour le développement de l'industrie, constituée de représentants des milieux industriels, universitaires et gouvernementaux.

Signalons enfin que la Communauté économique européenne (CEE) vient d'entreprendre la réalisation d'un programme-cadre de recherche en biotechnologie pour lequel est prévu un investissement de 149 millions de dollars sur cinq ans. Le maillage des chercheurs des différents pays de la CEE y constitue une préoccupation importante. On souhaite renforcer les connaissances de base dans un certain nombre de champs de recherche de pointe qui ont une pertinence industrielle certaine, dont l'évaluation des mécanismes complexes des micro-organismes soumis à divers environnements.

5.2 La politique canadienne

Selon des chiffres publiés par Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC), le gouvernement fédéral aurait dépensé au Canada 105,9 millions au titre des biotechnologies en 1988-1989 et 484,1 millions sur six ans (1983-1989)[45].

C'est au début des années 80 que le gouvernement fédéral a mis en place une politique visant à favoriser le développement des biotechnologies[46]. La stratégie qui anime la mise en oeuvre de cette politique est sensiblement similaire à celle qu'utilisent la plupart des pays engagés dans la course aux biotechnologies, axée à la fois sur la R-D et sur l'émergence d'industries utilisant ou développant les biotechnologies. La nouveauté des biotechnologies et le peu d'applications industrielles dictent alors une stratégie en amont, c'est-à-dire visant surtout **a)** à renforcer les compétences, **b)** à accentuer la recherche fondamentale et appliquée dans les universités et **c)** à explorer les voies de la valorisation des résultats de ces recherches. Cette stratégie nationale est orchestrée par un comité interministériel sur la biotechnologie qui reçoit des recommandations d'un comité consultatif national de la biotechnologie, formé de représentants gouvernementaux, universitaires et industriels.

L'évolution de la stratégie fédérale peut se diviser en deux périodes. De 1982 à 1986, les mesures d'appui visaient surtout à créer des masses critiques de chercheurs et à mettre en place des infrastructures de recherche. D'où la création d'importants centres de recherche gouvernementaux fédéraux un peu partout au Canada. Quelques-uns seront

45. *Rapport sur les dépenses du gouvernement fédéral en biotechnologie, 1986-1989*, Industrie, Sciences et Technologie Canada, octobre 1990.

46. Voir notamment *Biotechnologie: un Plan de développement pour le Canada, Industrie, Sciences et Technologie Canada*, Rapport du Groupe de travail sur la biotechnologie, 1981.

implantés au Québec, et s'ajouteront à d'autres infrastructures déjà en place qui ont des activités de recherche dans le domaine des biotechnologies, comme le Centre de foresterie des Laurentides et les stations de recherche agricole du Canada, dont celle de Sainte-Foy.

L'Institut de recherche en biotechnologie (IRB) du Conseil national de recherches du Canada, situé à Montréal, est en activité depuis 1985. Avec 170 chercheurs permanents et près de 100 chercheurs invités, l'IRB se consacre à la recherche en génie biochimique, en génie des protéines, en génétique moléculaire et en immunologie moléculaire. Ses champs d'intervention sont les produits biopharmaceutiques, l'industrie forestière et les pâtes et papiers, l'environnement, l'agro-alimentaire, l'enzymologie industrielle et le génie des procédés. L'IRB doit également fournir aux entreprises l'appui nécessaire pour leur permettre la mise au point de produits et procédés biotechnologiques. Il dispose à cet effet d'une usine-pilote, mise sur pied en 1988.

Outre l'IRB, il faut mentionner le Centre de recherche et de développement sur les aliments d'Agriculture Canada à Saint-Hyacinthe et l'Institut Maurice-Lamontagne de Pêches et Océans Canada à Sainte-Flavie qui effectue des recherches en biologie marine. Il faut également souligner l'effort de valorisation de la recherche par l'appui au transfert technologique des centres gouvernementaux vers l'industrie, grâce au programme PARI (Programme d'aide à la recherche industrielle); ce programme n'a pas cependant de volet consacré spécifiquement aux biotechnologies.

Le programme des Ententes-cadres de coopération avec les provinces, mis en place par le gouvernement fédéral en 1984, a également entraîné des dépenses en biotechnologie. Le Québec s'est impliqué dans six de ces ententes d'une durée de cinq ans; l'une d'elles concernait le développement de la science et de la technologie et comportait un volet biotechnologies; d'autres ententes, notamment en agriculture, permettaient le développement de projets à contenu biotechnologique.

Un virage s'est opéré à compter de 1986 lorsque le gouvernement fédéral a révisé sa politique nationale en matière de sciences et de technologie. La nouvelle stratégie, articulée dans le programme InnovAction, est orientée vers le développement des technologies «stratégiques», essentiellement l'informatique, les nouveaux matériaux et les biotechnologies[47]. Elle vise à accentuer les relations université-industrie-gouvernement. Elle se traduit, d'une part, par des programmes consacrés à la valorisation des biotechnologies et, d'autre part, par la redéfinition des mandats de plusieurs centres de recherche gouvernementaux afin que ceux-ci deviennent des organismes de transfert des connaissances et aussi d'incubation industrielle de nouvelles technologies.

Le Centre Saint-Laurent du Canada, créé en 1988 par Environnement Canada afin d'assainir le fleuve Saint-Laurent, illustre assez bien la nouvelle politique. Pour stimuler l'émergence de centres d'expertise et d'excellence en technologies de l'environnement, l'organisme cherche à établir des partenariats avec les entreprises, les milieux universitaires et gouvernementaux. Il se préoccupe en outre de la valorisation et du transfert des résultats de recherche vers les entreprises[48].

47 *InnovAction, La stratégie canadienne en matière de sciences et de technologie*, Ministère d'État chargé des Sciences et de la Technologie Canada, 1987.

48 *Centre Saint-Laurent*, Environnement Canada, Conservation et protection, 1989.

Huit réseaux nationaux de biotechnologie ont également été créés afin de faciliter la communication et la collaboration entre les intervenants en R-D en biotechnologie au Canada. Chaque réseau est sous la direction d'un ministère fédéral et se spécialise dans un travail d'application bien précis. Ce sont AQUATECH (Pêches et Océans), BIOCROP et BIONIF (Agriculture), BIONET (Santé et Bien-être social, Agriculture), BIOMINET (Énergie, Mines et Ressources), BIOFOR (Forêts), BIOQUAL (CNRC, Environnement Canada), BIOCIDE (CNRC)[49].

Le programme Technologies stratégiques – Biotechnologie, géré par Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC) et opérationnel depuis 1989, a pour objectif de créer des alliances de recherche ou encore des alliances d'applications technologiques entre entreprises et éventuellement une université ou un centre de recherche. Les consortiums peuvent bénéficier de financement allant jusqu'à 50 % de dépenses de R-D planifiées. Au cours des trois dernières années, huit consortiums de recherche québécois (sur un total de 30) ont bénéficié de subventions totalisant près de 19 millions de dollars[50].

La nouvelle orientation de la politique fédérale s'articule autour de programmes nationaux, c'est-à-dire accessibles à toutes les régions, mais aussi autour de programmes plus spécifiquement régionaux. À titre d'exemple, si le programme Technologies stratégiques – Biotechnologie est un programme national, il n'en est pas de même du National Agriculture Biotechnology Initiative (NABI), une action commune du gouvernement fédéral et des provinces de l'Ouest, gérée aussi par ISTC. Dans ce dernier programme, des dépenses de 50 millions de dollars sont prévues pour les trois prochaines années, pour le financement de projets de recherche appliquée et de commercialisation, dont la moitié sera payée par le gouvernement fédéral à même le Fonds pour la diversification économique de l'Ouest. Il faut rappeler ici qu'ISTC est chargé de nombreux mandats, dont celui du développement régional.

Bien qu'ils aient une mission pancanadienne, les nombreux centres de recherche fédéraux sont nécessairement situés dans une province ou dans l'autre. Leur impact régional est incontesté et il est appelé à augmenter dans la mesure où, de plus en plus, ces organismes gouvernementaux orientent leurs activités vers le milieu industriel dans le but de contribuer au développement technologique des entreprises. Ce phénomène est particulièrement important pour le Québec. On peut estimer à plus de 20 millions de dollars les dépenses de ces centres en biotechnologie au Québec en 1990-1991. Rappelons enfin que le plan vert canadien, un vaste programme d'assainissement de l'environnement de 3 milliards sur cinq ans, consacrera une partie de ses fonds à l'innovation scientifique, contribuant ainsi possiblement au développement de nouveaux produits et procédés biotechnologiques dans le domaine[51].

5.3 La politique du Québec

Dans l'état actuel des choses, il est difficile de chiffrer l'effort financier du gouvernement québécois en R-D dans les biotechnologies. Les fonds existent, mais ils restent diffus et mal définis. Une première estimation des dépenses des principales mesures d'appui au

49. *Partenariats en biotechnologies*, Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC), 1988.
50. Données fournies par Industrie, Sciences et Technologie Canada.
51. *Le plan vert du Canada pour un environnement sain*, Environnement Canada, 1990.

développement des biotechnologies par le gouvernement du Québec situerait à plus de 60 millions de dollars le niveau de ces dépenses sur sept ans.

En 1982, à la suite d'une vaste consultation des milieux de la recherche et de l'industrie, le gouvernement du Québec adoptait un plan d'action quinquennal de développement des biotechnologies[52]. Trois objectifs avaient été retenus pour la période 1982-1987, ou «Phase 1» du plan d'action: **1)** augmenter les ressources en R-D sur les biotechnologies, **2)** faciliter le transfert des connaissances vers l'industrie, **3)** assurer un financement approprié. Il s'agissait en quelque sorte d'accélérer le développement d'une infrastructure scientifique et industrielle en fonction des acquis relativement modestes dont disposait le Québec à ce moment. Si l'une des principales actions proposées alors, la formation d'une société de R-D en biotechnologie, semble ne pas avoir eu de suites immédiates, le gouvernement du Québec a néanmoins mis en place, au cours des années 80, différents programmes et mesures pour favoriser l'essor des biotechnologies.

Tableau 5.1 Principales mesures d'appui au développement des biotechnologies par le gouvernement du Québec (sur une période de sept ans)

Objectif poursuivi	Programme	Début / fin	Estimation des dépenses 1983-1990 (M $)
Recherche et formation universitaire	Unité de formation technologique et méthodologique	1982/1985	0,5
	Banques de souches	1982/1985	0,3
	Actions structurantes	1985/1990	15,7
Valorisation de la recherche	Liaisons universités-industries	1983/1988	0,5
	Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB)	1985/...	17,5
	Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ)	1983/...	2,0
Coopération internationale	Coopération-Biotechnologies	1983/...	1,6
Financement – entreprises	Bio-Méga inc.	1984/1988	20,0
	Bio-Agral[53]	1983/1986	nd
	Entente auxiliaire Québec / Canada sur le développement scientifique	1985/1990	2,2
Total (pour 7 années)			**60,3**

Note Cette liste d'interventions ne couvre pas l'ensemble des actions du gouvernement dans le domaine des biotechnologies ; elle ne constitue pas non plus une liste exhaustive des mesures ayant un effet sur les biotechnologies. Elle omet l'impact de mesures d'appui, telles que les encouragements fiscaux à la R-D.

Source : Compilation du Conseil de la science et de la technologie.

52. *À l'heure des biotechnologies, Programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec, Phase I: 1982-1987*, Gouvernement du Québec, Secrétariat à la science et à la technologie, 1982.

53. Cette filiale à part entière de SOQUIA devait être dotée d'un fonds de 10 millions de dollars pour fournir du capital de risque à des entreprises de biotechnologies agro-alimentaires. La société a mis fin à ses activités après avoir accusé un déficit de 200 000 $ en 1984-1985 et de 240 000 $ en 1985-1986.

Afin de constituer des masses critiques de recherche et des pôles d'excellence dans le domaine, le programme des Actions structurantes, qui avait retenu les biotechnologies parmi ses priorités, a fourni son soutien à onze équipes actives en biotechnologie,dans les domaines de la santé, de l'agro-alimentaire de l'énergie et des biotechnologies végétales, pour un montant de 15.7 millions de dollars entre 1985 et 1990. Le programme est maintenant en évaluation.

Le programme Liaisons universités-industries (LUI) a subventionné, entre 1984 et 1988, des équipes universitaires performantes en transfert de connaissances et de technologies vers les entreprises. Six unités de formation technique et méthodologique (UFTM) en biotechnologie ont été créées dans les universités, afin de contribuer à la formation et au recyclage des chercheurs et des techniciens. Le Québec a en outre investi une vingtaine de millions de dollars dans la constitution d'une infrastructure importante de recherche industrielle dans le domaine de la santé (Bio-Méga inc.).

Pour sa part, le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB), créé en 1985, s'est révélé être un des principaux mécanismes de mise en liaison des chercheurs et des industriels dans le domaine. Ce centre agit en quelque sorte comme une société de capital de risque qui n'exige aucune redevance. Au cours de ses cinq premières années d'activité, le CQVB a été à l'origine de 115 projets entre partenaires ; il a fourni lui-même 44 % du financement, le reste se partageant entre les entreprises (28 %) et les autres partenaires. En 1991, à la suite d'une évaluation très positive, cet organisme a vu son mandat renouvelé et élargi. Il a obtenu 17.5 millions pour poursuivre ses activités durant les cinq prochaines années. Quatre cibles de valorisation de la biomasse ont été retenues : **1)** la valorisation des matières ligneuses et de leurs résidus en appui aux besoins de l'industrie forestière, **2)** la valorisation des biomasses agricoles et aquatiques et de leurs résidus en appui aux besoins du secteur agro-alimentaire, **3)** la valorisation des biomasses dites urbaines en appui aux besoins des municipalités et des entreprises du secteur tertiaire actives en ce domaine, **4)** la valorisation des matières tourbeuses[54].

Le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), pour sa part, s'est doté de différents équipements de recherche et d'expérimentation en biotechnologie, notamment en matière de compostage et de biofiltration. Il dispose aussi d'une plate-forme pilote d'expérimentation de traitement des eaux et des boues usées, à l'usine d'épuration des eaux de la Communauté urbaine de Québec, sur les battures de Beauport.

Au ministère des Affaires internationales, le Programme de coopération internationale en biotechnologie, qui bénéficie d'un budget annuel moyen de 200 000 $ voit actuellement déboucher un certain nombre de projets de recherche communs vers des applications industrielles prometteuses. Depuis 1989, ce programme est géré par une structure mixte qui s'occupe également de la valorisation des résultats de recherche[55].

Rappelons que les fonds subventionnaires québécois contribuent à l'essor de la recherche universitaire en biotechnologie pour des montants estimés en 1991-1992, à 1,2 million de dollars du Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche (FCAR), (volets Équipes, Nouveaux chercheurs et Actions spontanées) et une portion

54. *Centre québécois de valorisation de la biomasse, Plan de développement 1991-1996*, Gouvernement du Québec, 1991.

55. Données fournies par le ministère des Affaires internationales. Voir aussi *Coopération franco-québécoise, Programme de recherche en biotechnologies, Bilan du programme 1982 à 1987*, par Jean-Pierre Raynaud, coordonnateur français (ARIBIO) et Jacques Amiot, coordonnateur québécois, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science.

difficile à estimer des contributions de 2,4 millions de dollars à 13 centres de recherche surtout en santé (Programme Centres de recherche), un million (Fonds de la recherche en santé du Québec) et 0,5 million (Conseil des recherches en pêche et agro-alimentaire du Québec).

Toutes les interventions du gouvernement du Québec dans le développement des biotechnologies n'ont pas eu autant de succès que les Actions structurantes ou le CQVB. C'est le cas du programme d'aide financière aux banques de souches qui a été abandonné après trois ans, faute de demande suffisante. Il en va de même de certaines expériences de financement de capital de risque pour les entreprises. L'Agence québécoise de valorisation industrielle de la recherche (AQVIR), créée en 1983 et maintenant intégrée à la SDI, ne semble pas avoir eu beaucoup d'impacts dans le champ des biotechnologies. Quant à la société Bio-Agral, une filiale de la Société québécoise d'initiatives agro-alimentaires (SOQUIA), elle disparaît après quelques années, faute de clients à financer.

Quelques ministères sectoriels comme Agriculture, Pêcheries et Alimentation (MAPAQ) ou celui des Forêts ont réalisé ou soutenu quelques projets de recherche en biotechnologie. En général cependant, et contrairement à ce qui se produit dans l'administration fédérale, il semble que les laboratoires et centres de recherche du gouvernement du Québec se préoccupent relativement peu de participer au développement des biotechnologies.

Si les actions gouvernementales québécoises visant spécifiquement les biotechnologies sont rares, spécialement depuis 1986, il faut s'empresser d'ajouter l'apport non négligeable des mesures fiscales d'encouragement ou autres à la R-D et à la formation continue dans les entreprises ainsi que les mesures d'aide financières à l'innovation fournies par des organismes tels que la SDI. Bien qu'il ne nous ait pas été possible d'obtenir de chiffres précis sur les sommes qui sont affectées aux biotechnologies à l'intérieur des programmes généraux d'aide à l'entreprise, on peut présumer qu'ils contribuent à soutenir le développement des biotechnologies au Québec.

Avec les mesures fiscales, le Fonds de développement technologique (FDT), créé en 1989, constitue le principal outil d'intervention québécois en matière d'innovation technologique. Doté de 350 millions de dollars sur six ans, le Fonds comporte cinq volets : **1)** les projets «mobilisateurs» favorisant les alliances stratégiques d'entreprises et de milieux de recherche ; **2)** les projets de R-D technologique correspondant à des priorités gouvernementales (mais pouvant être présentés par les milieux de recherche en association avec le secteur privé) ; **3)** les projets de recherche en environnement (50 millions), qui peuvent être de type exploratoire (PREE) ou viser une innovation technologique (PITE) ; **4)** un nouveau volet, appelé R-D/PME, géré par le ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie et doté d'une enveloppe de 20 millions, pour soutenir des projets de R-D à risque élevé mais ayant un potentiel commercial important ; **5)** un nouveau volet de 32 millions, appelé Synergie et géré par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, qui s'adresse aux chercheurs des établissements d'enseignement supérieur qui mènent des travaux susceptibles d'intéresser les entreprises privées.

Jusqu'à présent, le FDT semble ne pas avoir eu beaucoup d'influence dans le développement des biotechnologies au Québec. Cependant, on peut s'attendre à ce que certains de ses volets (celui de l'environnement en particulier) puissent soutenir des projets en biotechnologie.

5.4 Conclusion

Les politiques mises en oeuvre par les deux paliers de gouvernement sont passablement différentes, depuis 1986 surtout. Le gouvernement fédéral accorde sa préférence au développement de technologies stratégiques, dont font partie les biotechnologies. Le gouvernement du Québec souhaite agir sur la stimulation d'un climat général favorable à l'innovation. Ses principaux programmes d'aide à l'entreprise ne ciblent pas de technologies précises, ni même de secteurs économiques. Ces visions distinctes peuvent être bénéfiques dans la mesure où les politiques mises en oeuvre par les deux paliers de gouvernement sont complémentaires, ce qui suppose un maximum de concertation entre eux.

Avec les assises universitaires relativement importantes sur lesquelles il peut miser, un des principaux atouts du Québec en biotechnologie est la présence sur son territoire d'établissements de recherche majeurs du gouvernement fédéral. Ces établissements présentent un potentiel très intéressant au chapitre de la collaboration avec les milieux de recherche universitaire et, surtout, sur le plan des retombées industrielles.

En ce qui a trait à la recherche fondamentale et appliquée en biotechnologie, les actions des deux paliers de gouvernement ont été importantes, car elles ont contribué à développer une solide base d'expertise en R-D. Dès 1984, le Québec a voulu dans le cadre du programme des Actions structurantes favoriser l'émergence de masses critiques de chercheurs dans les domaines jugés stratégiques. Le gouvernement fédéral a pour sa part mis en place en 1988 un programme de financement de Réseaux de centres d'excellence de plus de 250 millions de dollars sur cinq ans visant le même objectif. Les chercheurs québécois participent à plusieurs d'entre eux, dont cinq concernant les biotechnologies. Il convient de rappeler ici que l'un des grands défis du développement des biotechnologies pour les années à venir sera de favoriser la formation d'équipes et de réseaux de recherche regroupant des chercheurs de haut calibre mais de formations disciplinaires différentes.

Les biotechnologies dans leur essence même exigent une approche interdisciplinaire pour trouver une solution, par exemple, tant aux problèmes de l'assainissement des eaux, de valeur ajoutée à partir des résidus agricoles et forestiers qu'aux mécanismes complexes que l'utilisation des micro-organismes engendre dans diverses conditions (climat, milieu humide, sec, etc.). La mise en réseau des chercheurs est d'ailleurs au coeur des nombreuses stratégies nationales et internationales (en particulier CEE) de développement des biotechnologies.

Sur la scène internationale, une nette tendance des stratégies gouvernementales de soutien au développement des biotechnologies se dessine en faveur de mécanismes de partenariat divers où la composante industrielle pèse d'un poids significatif dans l'orientation et la gestion des projets. Non seulement le principe des alliances stratégiques facilite-t-il le passage des connaissances et du développement technologiques des laboratoires vers les industries, mais il confère un effet multiplicateur à l'argent public investi. Au Québec, le CQVB et le Centre Saint-Laurent du Canada fonctionnent en bonne partie dans cette prospective.

De nombreux pays ont décidé en outre de cibler leurs interventions en matière de R-D sur des créneaux plus ou moins spécialisés, où un avantage comparatif pour ces pays a été décelé. La priorité des secteurs ne doit pas être décrétée unilatéralement par un acte d'autorité politique, mais s'appuyer sur une analyse juste des forces et des faiblesses du

Québec dans le domaine et susciter une base de consensus appréciable dans les milieux de la recherche et de l'industrie.

Outre le soutien à la R-D, l'effort gouvernemental de soutien à la valorisation industrielle des biotechnologies passe par la diffusion des procédés et des biens et services, le transfert technologique et l'adaptation des technologies aux entreprises. Ces fonctions sont déjà assumées par un certain nombre de mécanismes, mais il est à prévoir que leur nécessité va s'intensifier au fur et à mesure que les percées scientifiques dans le domaine vont se traduire en percées technologiques utilisables et en gains de productivité. Les gouvernements ont à cet égard un autre levier important, leur pouvoir d'achat, pour stimuler le développement technologique et contribuer à la croissance d'industries. En particulier, dans le domaine de la santé et en ce qui concerne l'approvisionnement en eau, les pouvoirs publics constituent le marché, ils sont des acheteurs quasi uniques.

Chapitre 6
La réglementation

6.1 Un élément stratégique

Au Québec, les décisions d'investissement des entreprises dans les biotechnologies sont affectées par les avantages que leur procure le régime canadien de la protection de la propriété intellectuelle et par les contraintes que leur impose la réglementation fédérale relative à la sécurité des produits biotechnologiques. Les garanties de sécurité qu'offrent les lois fédérales et québécoises pour la protection de la santé et de l'environnement contre les risques découlant de l'utilisation industrielle de produits biotechnologiques peuvent contribuer à l'acceptation sociale des biotechnologies et ainsi favoriser leur développement industriel. Pour toutes ces raisons, la sensibilisation et l'information du public et des entreprises sur la réglementation en vigueur doivent être une partie intégrante des efforts de promotion des biotechnologies.

En 1985, dans son Avis sur le développement industriel des biotechnologies, le Conseil de la science et de la technologie avait insisté sur la nécessité pour les gouvernements canadien et québécois d'adapter la réglementation en vigueur de manière à favoriser l'essor des biotechnologies[56]. Malgré des changements apportés à la Loi sur les brevets en 1987, cette adaptation n'a pas encore été réalisée. Elle est maintenant plus urgente étant donné l'accélération du développement des biotechnologies et l'importance pour le Québec d'être le plus rapidement possible en mesure de tirer profit de ce mouvement. De plus, plusieurs décisions fédérales en cette matière sont imminentes. Le Comité consultatif national de la biotechnologie vient d'ailleurs de soumettre au ministre fédéral des Sciences plusieurs recommandations concernant la réglementation des biotechnologies[57]. Ses préoccupations rejoignent celles du Conseil de la science et de la technologie.

Les points suivants méritent particulièrement attention : la protection de la propriété intellectuelle des nouvelles substances et procédés pharmaceutiques, la prise de brevet dans le cas de nouvelles formes vivantes produites par manipulations génétiques et la réglementation en matière de protection de la santé publique et de l'environnement.

6.2 Une protection insuffisante pour les nouvelles substances pharmaceutiques

Au Québec, comme au Canada, un grand nombre d'entreprises actives en biotechnologie appartiennent à l'industrie pharmaceutique. Cette industrie a connu au Québec un essor sensible depuis quelques années. Les différentes mesures instituées par le

56. Conseil de la science et de la technologie, *Le développement industriel des biotechnologies au Québec, Avis au Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Science et de la Technologie*, Avis no 85.03, 1er mai 1985, p. 48 à 54.

57. Comité consultatif national de la biotechnologie, *Plan d'action national sur la biotechnologie. Assurer un avantage concurrentiel au Canada, Cinquième rapport*, novembre 1991, p. 6-7.

gouvernement du Québec pour favoriser la recherche-développement (R-D) ont certainement contribué à cet essor. Mais la réglementation fédérale relative à la protection de la propriété intellectuelle pour les nouvelles substances et procédés pharmaceutiques y a joué un rôle clé.

Avec le projet de loi C-22, le législateur a voulu encourager les entreprises pharmaceutiques à investir davantage dans la recherche-développement au Canada. C'est d'ailleurs à la suite d'un engagement formel de l'industrie pharmaceutique d'accroître considérablement ses investissements en recherche-développement que ce projet de loi a été adopté en 1987. Avant cette date, la Loi sur les brevets permettait l'émission de licences d'importation et de fabrication dès la prise de brevet[58]. Elle favorisait donc les entreprises d'importation et de fabrication de médicaments génériques moins coûteux et, en contrepartie, décourageait les entreprises pharmaceutiques d'investir dans la recherche-développement. En vertu de la nouvelle loi, le brevet canadien garantit, dans le cas de nouveaux procédés ou substances pharmaceutiques, des droits d'exclusivité d'une durée de sept ans à compter de la date d'approbation du produit pour la mise en marché (délivrance de l'avis de conformité)[59] et de sept à dix ans dans le cas de procédés[60].

Présentement, les avantages du brevet canadien pour les substances ou procédés pharmaceutiques sont jugés insuffisants pour que la croissance des investissements se maintienne dans cette industrie, en matière de recherche-développement notamment. La tendance, sur le plan international, est maintenant d'accorder une protection par brevet plus longue, qui tient davantage compte des investissements importants que requièrent la mise au point et les essais cliniques d'une nouvelle substance pharmaceutique. Dans plusieurs pays de la Communauté européenne, la durée de la protection effective, offerte par les lois existantes ou en voie d'élaboration, varie entre seize et dix-huit ans. Aux États-Unis, celle-ci devrait bientôt atteindre quatorze ans.

Il s'agit de la durée de la protection effective ou réelle qui tient compte du délai entre le dépôt d'une demande de brevet et l'obtention du brevet, qui est de trois ans environ, et également de la durée des procédures d'homologation préalables à l'autorisation de commercialiser le produit. Aux États-Unis, certains correctifs ont d'ailleurs été apportés à la réglementation qui permettent d'ajuster la durée de vie effective d'un brevet en fonction des délais requis pour l'obtenir et de la durée des procédures d'approbation pour commercialisation. Au Canada, la lenteur, souvent déplorée, des procédures d'obtention d'un brevet et d'homologation des produits réduit les avantages des entreprises. Toutefois, la période d'exclusivité accordée au détenteur de brevet commence à la délivrance de l'approbation pour commercialisation (avis de conformité).

6.3 Un régime encore mal adapté à la protection des nouvelles formes vivantes

Dans plusieurs grands pays industrialisés, le régime de protection de la propriété intellectuelle s'applique à tous les produits biotechnologiques à l'exception des nouvelles

58. Le brevet accorde à l'inventeur, pour un temps déterminé, des droits exclusifs sur son invention. L'inventeur peut percevoir des redevances lorsqu'il accorde des licences d'utilisation. En retour, le nouveau produit est rendu public.

59. Le brevet n'autorise pas la commercialisation et un produit breveté ne peut être commercialisé avant que sa sécurité et son efficacité n'aient été évaluées.

60. La période d'exclusivité est de vingt ans pour un médicament inventé et développé au Canada.

formes vivantes complexes du règne animal résultant de la recherche et du développement. La possibilité de breveter ces produits est encore à l'étude dans plusieurs pays ; aux États-Unis elle est déjà établie et l'Office Européen des brevets semble s'ajuster rapidement à l'approche américaine[61].

Au Canada, l'interprétation juridique donnée à la Loi sur les brevets permet de breveter des micro-organismes. On estime que la voie est maintenant ouverte pour les formes vivantes plus complexes. La Loi canadienne sur les brevets ne permet toutefois pas le dépôt de spécimen pour appuyer les demandes de brevets pour des organismes vivants. Il s'agit d'une pratique qui a été instituée dans plusieurs pays afin de faciliter la prise de brevet pour les produits biotechnologiques. Les façons usuelles de décrire une invention, comme celles qui sont prévues par la Loi canadienne sur les brevets, ne sont en effet pas appropriées dans le cas d'organismes vivants.

Tableau 6.1 Comparaison du Canada avec d'autres pays relativement au régime de protection de la propriété intellectuelle des produits biotechnologiques

	Brevets pour micro-organismes	Dépôt de spécimens	Brevets pour plantes*	Brevets pour animaux*
Canada	oui	non	non	non
États-Unis	oui	oui	oui	oui
CEE	oui	oui	oui	à l'étude
Japon	oui	oui	oui	à l'étude

* Il s'agit de plantes et d'animaux transgéniques.

Source : Peat, Marwick, Stevenson & Kellogg, *National Business Strategy for Biotechnology*, Report prepared for the National Biotechnology Advisory Committee, 1991.

Le Canada n'a pas non plus adhéré au *Traité de Budapest*, signé en 1977, qui définit les standards minimaux que doivent respecter les banques de cultures où sont gardés ces spécimens. L'accès à ces banques, réservé aux pays signataires, facilite et accélère les processus de vérification de la validité d'une demande de brevet pour les nouvelles formes vivantes. Ces banques de cultures, comme les brevets, jouent un rôle important dans la diffusion des progrès accomplis en biotechnologie.

6.4 La réglementation en matière de protection de la santé publique et de l'environnement : un équilibre à trouver

La réglementation relative à la sécurité et à l'efficacité des produits biotechnologiques est une responsabilité fédérale. Présentement, les principaux ministères concernés soit Agriculture Canada et Santé et Bien-Être social Canada évaluent les produits biotechnologiques en vertu des lois existantes s'appliquant à d'autres produits. Les critères promulgués par le sous-comité sur la sécurité et les réglementations, créé avec l'appui du ministère d'État aux Sciences et à la Technologie en 1985, servent à préciser, sur une base intérimaire et au cas par cas, quelles informations particulières sont requises pour l'éva-

61. Mentionnons que l'Office européen des brevets a accepté, récemment, de breveter des animaux transgéniques ; voir *Le Monde*, 13 novembre 1991, p. 16.

luation[62]. Ces ministères sont à préparer des directives pouvant faciliter l'évaluation des produits biotechnologiques. Des projets ont déjà fait l'objet de consultations mais aucune directive n'a encore été adoptée.

Selon le projet de règlement, soumis pour consultation en septembre 1990 par Environnement Canada et Santé et Bien-Être social Canada, les produits biotechnologiques seraient des «substances nouvelles» et devraient donc être assujettis à la Loi canadienne sur la protection de l'environnement, laquelle s'applique en principe aux substances pour lesquelles il n'existe aucune législation spécifique. Le même projet de règlement propose également des mécanismes pour contrôler l'utilisation de nouvelles formes vivantes et particulièrement leur dissémination volontaire dans l'environnement. Il établit cinq niveaux d'activités allant de la recherche-développement dans des installations étanches jusqu'à la dissémination à grande échelle, les délais d'obtention d'une autorisation et l'information exigée étant fonction du niveau d'activités. Le projet a été sévèrement critiqué, par les milieux d'affaires en particulier, et il a été retiré. Un autre projet doit être rendu public sous peu.

Il y a chevauchement de responsabilités entre les deux niveaux de gouvernement en matière de protection de l'environnement[63]. Le ministère québécois de l'Environnement exerce en effet un contrôle sur toute activité industrielle susceptible de rejeter des substances polluantes dans l'environnement. L'établissement de procédures particulières pour les produits biotechnologiques y est envisagé.

La réglementation relative à la sécurité des produits biotechnologiques est donc arrivée à un point tournant au Canada et au Québec et certaines balises doivent orienter les choix à faire.

La nécessité de maintenir des normes de qualité et de sécurité des produits et des procédés, de même que des normes de contrôle en matière de pollution qui stimulent, chez les entreprises, la recherche et l'utilisation de produits et de procédés améliorés ou nouveaux, constitue l'une de ces balises. Par exemple, dans le secteur de l'environnement, la réglementation devrait inciter à la recherche de solutions plus efficaces au problème des rejets industriels polluants, ce qui pourrait avoir comme effet d'entraîner l'accélération du développement technologique dans ce domaine, notamment des produits et procédés biotechnologiques de dépollution et de valorisation des déchets.

---

62. Ce sous-comité a été institué en 1985 par le ministère d'État aux Sciences et à la Technologie pour identifier les déficiences et les zones grises dans la réglementation, de clarifier la répartition des juridictions entre les ministères et pour développer des critères applicables aux produits biotechnologiques pouvant être utilisés par les divers ministères concernés. Voir Camille Limoges, Evelyne Fortin, Dominique Charron, *Les politiques nationales pour le soutien et pour la régulation des biotechnologies dans huit pays industrialisés et dans la Communauté économique européenne*, Étude réalisée pour le Conseil de la science et de la technologie, version provisoire, Centre de recherche en évaluation sociale des technologies, Université du Québec à Montréal, 5 septembre 1991, p. 145.

63. La Loi canadienne sur la protection de l'environnement, sanctionnée en 1988, remplace la Loi sur les contaminants de l'environnement et en élargit la portée. Elle unifie une bonne partie des lois fédérales mises en application par le ministère de l'Environnement. Les ministres d'Environnement Canada et de Santé et Bien-Être social Canada sont tous deux responsables de l'application de cette loi. Le gouvernement du Québec avait fait valoir son opposition à plusieurs dispositions de cette loi qui donne aux ministres d'Environnement Canada et de Santé et Bien-Être Social Canada des pouvoirs plus étendus en matière de santé et d'environnement.

Les tendances de la réglementation chez nos partenaires commerciaux sont une autre balise. L'OCDE et la Communauté économique européenne font d'ailleurs depuis plusieurs années des efforts soutenus en vue d'harmoniser les réglementations nationales en matière de biotechnologie[64]. Ces efforts visent à la fois à limiter les risques qu'entraîne l'utilisation industrielle de micro-organismes et surtout d'organismes génétiquement modifiés et à éviter le choix de réglementations qui freineraient indûment le développement industriel des biotechnologies et feraient obstacle aux échanges commerciaux.

Présentement, dans la zone OCDE, la tendance est de réglementer les produits biotechnologiques, indépendamment des processus, biotechnologiques ou autres, par lesquels on est arrivé à ces produits. Elle est également à réglementer les produits biotechnologiques en vertu des lois s'appliquant à d'autres types de produits, auxquelles on a ajouté des règlements ou directives spécifiques[65].

Dans la plupart des pays où la dissémination volontaire à grande échelle de produits biotechnologiques est permise, les autorisations sont accordées cas par cas, après évaluation[66]. Cette pratique s'impose à l'heure actuelle étant donné qu'il est encore impossible d'établir des classifications de produits et d'utilisations en fonction des risques dans le cas des biotechnologies, un champ générique, polymorphe et qui évolue rapidement. Des efforts sont déployés dans les organisations internationales comme l'OCDE afin d'encourager la constitution de banques de données qui pourraient éventuellement servir à l'établissement et à l'utilisation de telles classifications.

6.5 Conclusion

Certaines dispositions de la Loi canadienne sur les brevets et la réglementation quant aux produits biotechnologiques et à leur utilisation doivent être harmonisées avec la réglementation en vigueur dans les autres pays industrialisés et en particulier chez nos partenaires commerciaux, afin de maintenir au Québec des conditions favorables à la recherche et à l'innovation industrielles dans le domaine des biotechnologies. Cela dit, les normes de qualité et de sécurité des produits, les normes de sécurité des installations et des procédés industriels et les normes de contrôle en matière de pollution doivent être suffisamment élevées pour inciter les entreprises à produire ou à adapter les nouvelles technologies et en particulier les biotechnologies.

Par ailleurs, un certain degré d'harmonisation des règlements et des pratiques des deux niveaux de gouvernement pourrait éviter que les entreprises du Québec ne soient tenues de répondre à deux séries concurrentes d'exigences, ce qui les obligerait à supporter des coûts et des délais supplémentaires.

---

64. Marc Chopplet, Jean-Michel Derichard, André Sant'ana, *La biotechnologie hors les murs. La libération des organismes génétiquement modifiés dans l'environnement*, CPE Étude, ADITECH, 1991, p. 79-92.

65. Font exception le Danemark et la l'Allemagne où des lois spéciales ont été récemment adoptées pour les produits biotechnologiques.

66. Les pratiques relativement à la manipulation de micro-organismes en milieu confiné, comme un laboratoire, ne font pas problème. Au Canada, elles sont en pratique gouvernées par les directives du Conseil de recherches médicales du Canada, émises en 1977 et révisées à plusieurs reprises. Ces directives ont été adoptées de façon volontaire par plusieurs autres organismes subventionnaires fédéraux et provinciaux et même par des laboratoires industriels. C'est la situation qui a cours également dans d'autres pays industrialisés.

Glossaire

ADN : acide désoxyribonucléique, molécule ayant la structure d'une double hélice qui renferme dans sa séquence l'information génétique.

ADN recombinant (ADNr) : séquences d'ADN constituées par l'association de fragments de deux ou plusieurs sources.

Aérobie : se dit d'un être vivant croissant uniquement en présence d'oxygène.

Anaérobie : se dit d'un être vivant croissant uniquement en l'absence d'oxygène.

Anticorps : protéines sécrétées par l'organisme en réponse à l'introduction dans celui-ci d'une substance étrangère (antigène). La production d'anticorps est une réaction du système immunitaire (de défense).

Anticorps monoclonaux : anticorps identiques dérivés d'une seule source (clone) de cellules.

Antigène : toute substance qui entraîne la sécrétion d'un anticorps, la reconnaissant spécifiquement comme étrangère à l'organisme.

Banque de souches : conservation de génomes d'intérêt pour les milieux de la recherche ou pour l'industrie.

Biocapteur : dispositif utilisant les propriétés d'un organisme vivant (en tout ou en partie), pour surveiller ou détecter la présence de substances toxiques.

Bioconversion : terme général qui s'applique à la transformation d'une substance en un ou plusieurs produits par une catalyse biologique. Une bioconversion est fondée sur l'emploi d'un agent biologique, molécule ou cellule, doué des propriétés enzymatiques appropriées.

Bioénergie : sources d'énergie produites par la transformation de matières organiques par des micro-organismes. Exemple, le biogaz est un gaz à haute teneur en méthane qui résulte de la fermentation anaérobie des matières organiques.

Biofertilisant : micro-organisme utilisé pour modifier les propriétés biologiques des sols.

Biofiltration : dans le domaine de l'environnement, traitement des effluents au moyen de procédés biologiques (ex. : tourbe servant de support à des micro-organismes spécialement adaptés).

Biolixiviation de minerais : utilisation de bactéries pour « digérer » les minerais de façon à en extraire les composants recherchés comme, par exemple, le cuivre.

Biomasse : ensemble de la matière vivante, animale ou végétale. On distingue habituellement la biomasse agricole, forestière, marine, etc. On inclut également dans la biomasse les déchets et résidus organiques de l'agriculture, de la pêche, de la sylviculture et des communautés humaines.

Biopesticide : substance biologique ou organisme utilisé pour lutter contre les parasites animaux ou végétaux des cultures.

Bioréacteur : cuve ou enceinte où agissent un ou des catalyseurs biologiques (essentiellement des enzymes), permettant d'effectuer des bioconversions.

Biosynthèse : formation au sein des cellules de molécules chimiques nécessaires à leur structure et à leur fonctionnement ; par extension, formation de substances organiques par les méthodes (enzymologie), procédés et techniques (fermentation) issus du vivant.

Catalyse : action par laquelle certaines substances (catalyseurs) accélèrent des réactions, en se retrouvant intactes à l'issue de celles-ci.

Clonage : multiplication de cellules ou d'organismes à partir d'une cellule mère ou d'un seul organisme initial ; les individus sont identiques et possèdent tous le même patrimoine génétique.

Confinement : réduction ou élimination des possibilités de survie ou de propagation de cellules, bactéries, plasmides, etc., par modification de leurs caractères génétiques.

Cytoplasme : partie de la cellule, à l'exclusion du noyau, qui comprend les organites tels que les mitochondries.

Embryogenèse somatique : multiplication de plants à partir d'une cellule végétale et non de graines. Cette technique facilite la sélection de plants plus sains, vigoureux, résistants, etc.

Enzymes : protéines dotées d'une fonction catalytique particulière.

Fermentation : bioconversion utilisant des micro-organismes. Ne désignant initialement que les cultures en l'absence d'oxygène (anaérobie), ce terme recouvre maintenant toutes les cultures de micro-organismes.

Fusion cellulaire : mise en contact des membranes de deux cellules créant une seule cellule hybride.

Génie génétique : l'ensemble des techniques de recombinaison génétique *in vitro* et de clonage.

Génie des protéines (génie protéique) : ensemble des techniques relatives à la synthèse des protéines, la manipulation et l'exploitation de leurs propriétés.

Génome : ensemble des chromosomes dont le nombre est spécifique pour chaque espèce.

In vitro : se dit d'une expérience qui a lieu dans un milieu artificiel, hors de l'organisme vivant, comme dans un tube à essai, une boîte de culture, etc.

Mitochondries : composantes (organites) de la cellule, possédant leur propre information génétique et agissant comme siège de la conversion énergétique intracellulaire.

Mycorhization : association d'un champignon (mycorhize) avec les racines d'un arbre ou d'une autre plante, qui accroît la capacité de la plante à absorber les éléments nutritifs du sol.

Plasmide : élément génétique, formé d'un fragment d'ADN circulaire indépendant du chromosome.

Protéine : molécule chimique, constituée d'une ou de plusieurs chaînes d'acides aminés dont la nature, protéine de structure (muscle) ou protéine fonctionnelle (enzyme), en détermine le rôle au sein d'un organisme vivant.

Recombinaison génétique : ensemble des mécanismes pouvant conduire au réarrangement des séquences d'ADN. Ces recombinaisons sont soit naturelles, soit provoquées *in vitro*.

Séquençage : détermination de l'ordre exact d'enchaînement (la séquence) des acides aminés d'une protéine, par exemple, ou des nucléotides de l'ADN.

Transgénique : qualité attribuée à un être vivant du règne végétal ou du règne animal, issu d'une cellule dont l'ADN a été modifié par l'addition de gènes n'appartenant pas au patrimoine génétique parental.

Trousse diagnostique : produits permettant de détecter ou de mesurer l'absence ou la présence d'une substance dans un organisme vivant notamment en vue d'établir un diagnostic. Pour plusieurs maladies, il existe maintenant des trousses diagnostiques à base d'anticorps monoclonaux. Pour les aliments et en environnement, les trousses diagnostiques sont de plus en plus utilisées pour détecter la présence de substances toxiques.

Les définitions de ce glossaire s'inspirent principalement de :

DARBON, Pierre et Jacques ROBIN (coord.), *Le Jaillissement des biotechnologies*, Paris Fayard, Fondation Diderot, Nouvelle encyclopédie des sciences et des techniques, 1987.

DUCOS, Chantal et Pierre-Benoît JOLY, *Les biotechnologies*, Paris, Éd. La Découverte, 1988.

MONTPETIT, Isabelle et Louise GENDRON, «Petit vocabulaire des biotechnologies», *Québec Science*, vol. 28, n° 2, octobre 1989, p. 23-26.

GROS, François, *L'ingénierie du vivant*, Paris, Éditions Odile Jacob, 1990, 237 p.

Office of Technology Assessment, Congress of the United States, *New Developments in Biotechnology. Patenting Life*, New York, Marcel Dekker, Inc., 1990.

Report on National Biotechnology Policy, The President's Council on Competitiveness, Washington, fév. 1991.

SALEM, Lionel, *Le dictionnaire des sciences*, Paris, Hachette, 1990, 482 p.

THOMAS, Daniel, «Les disciplines scientifiques des biotechnologies», *La Pensée*, n° 250, mars-avril 1986, pp. 86-102.

THOMAS, Daniel, *Biotechnologie*, Paris, Éditions Messidor / La Farandole, 1990.

URLICH, Myriam et Hélène RIVKINE, «Électronique. Biotechnologies», *Néologie en marche*, 1984, n° 36, p.32-48.

Bibliographie

BECHTEL, M. et A. CAYLA, *Étude internationale comparative des règlements concernant les biotechnologies*, Association française de normalisation, Paris, 1987, 117 p.

Biofutur, «Financing of European Research in Biotechnological Fields», vol. 42, janvier 1986, p. 55-56.

BURRILL, G. S. et ERNST & YOUNG *Biotech 90: Into the Next Decade*, New York, Mary Ann Liebert, Inc., Publishers, 1989, 247 p.

BURRILL, G. S. et K. L. LEE, *Biotech 1992, Promise to reality – An Industry Annual Report*, published by Ernst & Young, San Francisco, 1991.

BURRILL, G. S. et K. L. LEE, *Biotech 1991: A Changing Environment*, Ernst & Young, Mary Ann Liebert, Inc., publishers, New York, 1990, 189 p.

Canada, Comité consultatif national de la biotechnologie, *Plan d'action national sur la biotechnologie : assurer un avantage concurrentiel au Canada*, cinquième rapport 1991, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, novembre 1991, 52 p.

Canada, Conseil d'examen du prix des médicaments brevetés, *Troisième rapport annuel pour l'année terminée le 31 décembre 1990*, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1991, iv, 56 p.

Canada, Conseil de recherches agricoles du Canada, Ferme expérimentale, *Inventaire de la biotechnologie 1990*, Ottawa, février 1990, 104 p.

Canada, Environnement Canada, *Le plan vert du Canada pour un environnement sain*, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1990, xii, 174 p.

Canada, Forêts Canada, Ottawa, *Recueil de statistiques forestières canadiennes*, Direction générale de l'économie et des statistiques, 1991.

Canada, Industrie, Sciences et Technologie Canada, *Profil de l'industrie : médicaments et produits pharmaceutiques*, Ottawa, 1988, 8 p.

Canada, Industrie, Sciences et Technologie Canada, *Rapport sur les dépenses du gouvernement fédéral en biotechnologie, 1986-1989*, Direction générale de la politique technologique, Ottawa, octobre 1990, 56 p.

Canada, Industry, Science and Technology Canada – Québec region, *Québec Biotechnology Company Directory 1990*, preliminary, Montréal, 1990.

Canada, ministère d'État chargé des Sciences et de la Technologie, *Biotechnologie : un plan de développement pour le Canada*, Rapport du Groupe de travail sur la biotechnologie présenté au ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie, présidé par Maurice BROSSARD, Ottawa, février 1991, 57 p.

Canada, ministère d'État chargé des sciences et de la technologie, *Questions de réglementation concernant la biotechnologie au Canada* : rapport commandé par le Secteur de la biotechnologie, Ontario, 1987, 1 vol.

Canada, ministère d'État chargé des sciences et de la technologie, *Répertoire de la biotechnologie canadienne 1988*, préparé par Jessie WELDON et David B. SHINDLER, Groupe de la biotechnologie, Ottawa, juillet 1988, 21 p.

Canada, ministère d'État chargé des sciences et des technologies, *InnovAction, la stratégie canadienne en matière de sciences et de technologie*, Ottawa, 1987, 25 p.

Canada, National Biotechnology Advisory Committee, Industry, Science and Technology Canada, *Biotechnology in the pulp and paper industry*, a report prepared for the Technology Policy Branch by R. BOURBONNAIS, L. JURASEK & M.G. PAICE, Ottawa, April 1991, 60 p.

Cégep de Sainte-Foy, *Rapport synthèse. Enquête sur le domaine des biotechnologies*, Comité de développement des biotechnologies du Cégep de Sainte-Foy, Québec, mai 1986.

Cégep de Shawinigan, *Biotechnologies, Formation au niveau collégial*, Shawinigan, décembre 1984, v, 91 p.

Centre d'initiative technologique de Montréal (CITec), *Plan stratégique en biotechnologie : plan d'action pour le développement de l'industrie de la biotechnologie dans la région de Montréal*, préparé par Secor inc., Montréal, 1988, 97 p.

Centre d'initiative technologique de Montréal (CITec), *Rencontre Entreprises-Universités en biotechnologie*, [Montréal], 15 mai 1989, fiches techniques.

Centre québécois de valorisation de la biomasse, *Centre québécois de valorisation de la biomasse, Plan de développement 1991-1996*, Gouvernement du Québec, Sainte-Foy, 1991, 68 p.

Centre québécois de valorisation de la biomasse, *Rapport d'évaluation du CQVB* : Résolution du Conseil d'administration ; Réflexions des membres à la suite du rapport (Annexe I), Rapport final d'évaluation du CQVB (Annexe II), Canevas de réflexion - plan quinquennal 1991-1996, Sainte-Foy, février 1990.

Centre Saint-Laurent, *Centre Saint-Laurent, Environnement Canada*, Approvisionnements et Services, Ottawa, 1989, 16 p.

Chemical Institute of Canada, *The Chemical Professions in Canada : Employment and Education for the Future*, Ottawa, juin 1991, vii, 32 p.

CHOPPLET, M., J.-M. DERICHARD, A. SANT'ANA, *La biotechnologie hors les murs, La libération des organismes génétiquement modifiés dans l'environnement*, Étude n° 142 du Centre de prospective et d'études, Paris, Aditech, 1991, 96 p.

Conseil de la politique scientifique du Québec, *Premier avis au ministre d'État au développement culturel et scientifique sur le programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec*, Québec, 1982, i, 21 p.

Conseil de la science et de la technologie, *Avis sur le développement industriel des biotechnologies au Québec*, Sainte-Foy, mai 1985, vii, 68 p.

Conseil de la science et de la technologie, *L'adaptation des entreprises aux nouvelles technologies*, Sainte-Foy, 1990, xviii, 147 p.

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, *Besoins futurs du Canada en personnel scientifique et technique hautement qualifié*, Ottawa, 1989, x, 193 p.

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, *Les subventions stratégiques en biotechnologies 1990-1991*, résumés des nouveaux projets de recherche, Ottawa, 71 p.

Conseil des universités, *Avis du Conseil des universités au ministre de l'Éducation sur la formation en biotechnologie*, Avis n° 84.5, Sainte-Foy, octobre 1984.

Conseil des universités, *Rapport du Comité sur la formation en biotechnologie*, Sainte-Foy, 1984, 164 p.

Conseil national de recherches du Canada et Industrie, Sciences et Technologie Canada, *Partenariats en biotechnologie*, Guide des programmes, services et centres de recherche fédéraux, Ottawa, septembre 1988, 52 p.

DAVIES, D., *Biotechnology in Europe : Industrial Issues for Public Policy*, London, F. Pinter, London, 1986, xiv, 156 p.

DE LA NOUE, J., Y. POULIOT et J.-L. SANSREGRET en collaboration avec BIONOV^{MC} inc., *L'agro-alimentaire et les biotechnologies*, Conseil de la science et de la technologie, document interne n° 2, Sainte-Foy, juillet 1987, 85 p.

Deloitte & Touche, *A Preliminary identification of strategic opportunities for development of bio-control and inoculant products in Canada*, Report prepared for Industry, Science and Technology Canada, Ottawa, May 1990, 40 p.

Deloitte & Touche, *A Study of strategic opportunities for Canadian biotechnology in animal husbandry products*, Phase II report, prepared for Industry, Science and Technology Canada, Ottawa, January 1991, appendices, 92 p.

DESROCHERS, M., E. CHORNET et A. FORTIN, *Le secteur forestier et les biotechnologies au Québec*, Conseil de la science et de la technologie, document interne n° 7, Sainte-Foy, août 1987, 70 p.

DU GRANRUT, C. et L. SAMANIEGO, «Les stratégies de la chimie européenne – les bouleversements dus aux biotechnologies», *La Recherche*, 235, septembre 1991, vol. 22, p. 1108-1119.

Ernst & Young High Technology Group, Industrie, Sciences et Technologie Canada et Conseil national de recherches du Canada, *La biotechnologie au Canada en 1989 : une industrie qui promet*, Toronto, 1989, 1 vol.

Ernst & Young, Industry, Science and Technology Canada, National Research Council of Canada, *Canadian Biotech '89, On the Threshold*, A survey of business and financial issues, a collaborative project, Winter House Scientific Publications Inc., Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, 1989.

European Communities, Commission, *Promoting the Competitive Environment for the Industrial Activities Based on Biotechnologies Within the Community*, Commission Communications to Parliament and the Council, SEC (91) 629 Final, Brussels, 19 April 1991, 35 p.

Fonds de recherches et de développement forestier inc., *Évolution des connaissances de la biotechnologie dans le secteur de la foresterie et de la biologie végétale*, préparé pour le Conseil de la science et de la technologie, Sainte-Foy, août 1991, 2 vol.

Frank Maine Consulting Ltd., *Study of the Technology Transfert Mechanisms in Biotechnology in the U.S., U.K., Japan and Canada : Review by Country and Recommendations for Canada*, Guelph, Ontario, 1985, 87 p.

FUNK, Thomas F. of Agri Studies Inc., *Opportunities for Biotechnology in Canadian Specialty Crops*, prepared for Industry, Science and Technology Canada, Ottawa, May 1990, 60 p.

GOULET, J. et S. J. DAVIDS, *L'évolution des connaissances de la biotechnologie dans le secteur bio-agro-alimentaire*, préparé pour le Conseil de la science et de la technologie, Sainte-Foy, septembre 1991.

GROS, François, *L'ingénierie du vivant*, Paris, Éditions Odile Jacob, 1990, 237 p.

Industrial Biotechnology Association of Canada, and Canadian Institute of Biotechnology, *Canadian Biotechnology Directory – Répertoire canadien de la biotechnologie 1990-1991*, Ottawa, Winter House Scientific Publications inc., 1990, vi, 62 p.

INGHAM, G., *La biotechnologie dans l'industrie agro-alimentaire au Canada, aperçu général*, Direction des produits alimentaires, Industrie, Sciences et Technologie Canada, Ottawa, juin 1989, appendice, 1, 25 p.

Institut de recherche en biotechnologie, *Plan d'affaires, aperçu géné-al, 1991-1992*, Conseil national de recherches du Canada, Montréal, 44 p.

KATZ, J., D. B. SATELLE, *Les biotechnologies pour tous*, réalisé sous le parrainage de la Commission économique européenne, Hobsons Publishing, 1991, 47 p.

KENNEY, M., *Biotechnology : the University Industrial Complex*, Yale University Press, New Haven and London, 1986, 306 p.

LAGACHERIE, F., *La politique fédérale de recherche en biotechnologie : Le nouveau programme biotechnologie 2000*, Paris, Aditech, 1991, 91 p.

Legault, Grysole et Associés, *Les biotechnologies au Québec : la conquête d'un nouveau monde*, étude préparée pour le compte de plusieurs ministères et organismes fédéraux et québécois, Montréal, mars 1989, plusieurs paginations.

LIMOGES, C., É. FORTIN et D. CHARRON, *Les politiques nationales pour le soutien et pour la régulation des biotechnologies dans huit pays industrialisés et dans la Communauté économique européenne*, préparé pour le Conseil de la science et de la technologie, Sainte-Foy, septembre 1991.

McGill University, Faculty of graduates studies and research, *Organized concentrations of interdisciplinary research expertise at McGill*, Fifth edition, Compiled by Janine VASSEUR, Montréal, February 1990, v, 51 p.

McIntyre Engineering Consultants Ltd., *Besoins en compétences biotechnologiques de l'industrie de la santé humaine : 1988 à 2000*, août 1988.

Montréal (Ville de), Commission d'initiative et de développement économiques de Montréal, *Chimies et biotechnologies*, par D. BISSONNETTE, CIDEM Entreprise, Développement sectoriel, plan d'action annuel 1986-1987, avril 1986, 20 p.

Montréal (Ville de), *Le développement des biotechnologies et des bio-industries à Montréal*, Rapport de la Commission permanente du développement économique, Montréal, 1990, 57 p.

MORISSET, P., R.-M. PELLETIER, *Recherche et formation en biologie végétale au Québec*, Conseil de la science et de la technologie, Sainte-Foy, 1986, xiii, 130 p.

MYSIEWICZ, THOMAS G., (Éd.), *Bio1000 1991-1992, Directory of World Biotechnology Companies*, 12e edition, Oak Harbour, Washington, Deborah J. Mysiewicz Publishers, 1991, 255 p.

NIOSI, Jorge, *La recherche-développement dans l'industrie québécoise du génie-conseil*, Conseil de la science et de la technologie, Sainte-Foy, avril 1991, 53 p.

OAKEY, R., V. WALSH, W. FAULKNER et S. COOPER, *New Firms in the Biotechnology Industry : Their Contribution to Innovation and Growth*, Columbia University Press, 1990, 224 p.

Ontario, *La biotechnologie en Ontario : une croissance en toute sécurité*, Livre vert du gouvernement de l'Ontario, Toronto, 1989, 55 p.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *Biotechnologie : effets économiques et autres répercussions*, Paris, 1989, 128 p.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *Biotechnologie : évolution du rôle des pouvoirs publics*, Paris, 1988, 134 p.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), Comité de la politique scientifique et technologique, *Effets économiques à long terme de la biotechnologie*, préparé par R. HOEREN, Paris, 1988, 72 p.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *Nouvelles technologies : une stratégie socio-économique pour les années 90*, Paris, 1988.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), Comité de la politique scientifique, Direction de la science, de la technologie, et de l'industrie, *Biotechnologie, agriculture et alimentation*, traduction provisoire, DSTI/STP(91)17, Paris, octobre 1991.

Peat, Marwick, Stevenson & Kellogg, *National Business Strategy for Biotechnology*, prepared by Gordon HUDSON, Garry SEARS, David GRILLER, Geoff GOLDER for the National Biotechnology Advisory Group, Industry, Science and Technology Canada, Ottawa, Phase I, draft report, December 1990, 175 p., Phase II, draft report, April 1991, 96 p.

PISANO, G.P., «The governance of innovation : vertical integration and collaborative arrangements in the biotechnology industry», *Research Policy*, vol. 20, n° 3, June 1991, p. 237-249.

POULIOT, Y. (Bionov/^MC inc.) et J. DE LA NOÜE (Université Laval), *Bilan et perspectives des biotechnologies environnementales au Québec* (version abrégée), étude réalisée pour le ministère de l'Environnement, le Centre québécois de valorisation de la biomasse et Environnement Canada, Sainte-Foy, 1987, 28 p.

PRENTIS, S., *Biotechnology, a new industrial revolution*, New York, George Braziller, inc. 1984, 192 p.

Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, *L'industrie bio-alimentaire au Québec : Bilan 1990 et perspectives*, [Québec], février 1991, 107 p.

Québec, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, *Coopération franco-québécoise, Programme de recherche en biotechnologies, Bilan du programme 1982-1987*, par Jean-Pierre RAYNAUD, coordonnateur français (ARIBIO) et Jacques AMIOT, coordonnateur québécois, [Québec], novembre 1987, 103 p.

Québec, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, *La relance au collégial : situation au 31 mars 1990 des diplômés et des diplômées de 1988-1989 de l'enseignement collégial : formation générale et professionnelle*, [Québec], 1991, 313 p.

Québec, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, *Portrait de chimie industrielle : la clientèle étudiante, de l'inscription à l'emploi*, par Louise BERGERON et Céline PELLETIER, Service de la planification des programmes, Direction des programmes, Québec, mai 1990, 79 p.

Québec, ministère de l'Environnement, *L'environnement au Québec : un premier bilan : synthèse*, Sainte-Foy, 1988, 96 p.

Québec, ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie, *Survol du secteur pharmaceutique : données sur le Canada et le Québec*, Services des industries biotechnologiques et pharmaceutiques, Québec, septembre 1989.

Québec, ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie, *Survol du secteur pharmaceutique et des bio-industries au Québec*, Services des industries biotechnologiques et pharmaceutiques, Québec, mars 1988, 18 p.

Québec, ministère de la science et de la technologie, *À l'heure des biotechnologies, Rapport des missions sectorielles sur la technologie de la fermentation, la banque de souches, la propriété industrielle, la biosécurité*, Québec, 1984, 1 vol.

Québec, ministère des Forêts, *Ressources et industries forestières, portrait statistique, Édition 1990*, Québec, 1991, 79 p.

Québec, ministère du Conseil exécutif, Secrétariat à la science et à la technologie, *À l'heure des biotechnologies : programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec : phase 1, 1982-1987*, Québec, 1982, 52 p.

Recherche (La), numéro spécial 188, «L'avenir des biotechnologies», mai 1987, p. 565-656.

Secor, inc., *Strategic industry analysis biotechnology in the Waste Treatment Industry*, report prepared for Industry, Science and Technology Canada, Technology Policy Branch, [s.l.], September 1989, 139 p.

SHARP, M., «David et Goliath ou l'entreprise de biotechnologie», *L'observateur de l'OCDE*, 164, juin-juillet 1990, p. 22-24.

TREMBLAY, Gérald, *Vers une société à valeur ajoutée*, allocution du ministre de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie faite à l'occasion de sa conférence de presse annuelle, École des Hautes Études commerciales, Montréal, 2 décembre 1991, plusieurs paginations, fiches.

United States, National Research Council, Committee on a National Strategy for Biotechnology in Agriculture, *Agricultural Biotechnology : Strategies for National Competitiveness*, National Academy Press, Washington, D.C., 1987, 205 p.

United States, The President's Council on Competitiveness, *Report on National Biotechnology Policy*, Chaired by Vice-President Dan QUAYLE, Washington, D.C., February 1991, viii, 26 p.

Université de Montréal, *Les biotechnologies à l'Université de Montréal*, Bureau de la recherche en collaboration avec le Comité de biotechnologie, Montréal, avril 1989, 3e édition, 60 p.

Université du Québec, *La recherche en biotechnologie : Université du Québec*, données assemblées par Nicole MOISAN, Sainte-Foy, 1990, 89 p.

WEBBER, D. J., *Biotechnology : Assessing Social Impacts and Policy Implications*, London, Greenwood Press, 1990, 295 p.

WOODMAN, W. F., M. C. SHELLEY, B. J. REICHEL, *Biotechnology and the Research Enterprise: A Guide to the Literature*, Ames, Iowa, Iowa State University Press, 1989, xviii, 358 p.

YUAN, R., M. D. DIBNER, *Biotechnology in Japan*, [s.l.], Macmillan Academic & Professional, 1990, 200 p.

Acronymes et sigles utilisés

ACIM	Association canadienne de l'industrie du médicament
AQUATECH	Réseau de biotechnologie du CNRC en technologie d'aquaculture
AQVIR	Agence québécoise de valorisation industrielle de la recherche
AST	Agence pour la science et la technologie [Japon]
BIONIF	Réseau de biotechnologie du CNRC portant sur la fixation de l'azote
BIOCROP	Réseau de biotechnologie du CNRC en perfection des lignées végétales
BIOFOR	Réseau de biotechnologie du CNRC en sylviculture et produits de la forêt
BIOMINET	Réseau de biotechnologie du CNRC portant sur le traitement des minéraux métalliques, industriels et énergétiques, et sur les questions pertinentes liées à l'environnement
BIONET	Réseau de biotechnologie du CNRC portant sur les produits de santé pour les humains et les animaux
BIOPRO	Groupe de recherche en procédés biotechnologiques [École polytechnique]
BIOQUAL	Réseau de biotechnologie du CNRC portant sur le traitement des déchets et la qualité et la protection de l'environnement
BIOCIDE	Réseau de biotechnologie du CNRC portant sur l'amélioration du bacille de thuringiensis pour le contrôle des insectes nuisibles
BPC	Biphényles polychlorés
CEE	Communauté économique européenne
CHUL	Centre hospitalier de l'Université Laval
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CNRS	Centre national de la recherche scientifique [France]
CORPAQ	Conseil des recherches en pêche et agro-alimentaire du Québec
CQVB	Centre québécois de valorisation de la biomasse
CRDA	Centre de recherche et de développement sur les aliments
CRIQ	Centre de recherche industrielle du Québec
CRM [Canada]	Conseil de recherches médicales du Canada
CRM [Québec]	Centre de recherche minérale [Énergie et Ressources]
CRRA	Centre de recherche en reproduction animale [Université de Montréal]
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
CSL	Centre Saint-Laurent [Environnement Canada]
CST	Conseil de la science et de la technologie [Québec]

DEC	Diplôme d'études collégiales
E-U	États-Unis
FDT	Fonds de développement technologique
Fonds FCAR	Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche [Québec]
FRSQ	Fonds de la recherche en santé du Québec [Québec]
FTQ	Fédération des travailleurs et travailleuses du Québec
GREMIP	Groupe de recherche en maladies infectieuses du porc [Université de Montréal]
IAF	Institut Armand-Frappier [Université du Québec]
INRA	Institut national de la recherche agronomique [France]
INRS	Institut national de la recherche scientifique [Université du Québec]
INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale [France]
IOPB	Programme orienté vers l'innovation en biotechnologie [Pays-Bas]
IRB	Institut de recherche en biotechnologie
IRBV	Institut de recherche en biologie végétale
ISTC	Industrie, Sciences et Technologie Canada
LUI	Programme de liaison universités-industries
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation [Québec]
MENVIQ	Ministère de l'Environnement du Québec
MER	Ministère de l'Énergie et des Ressources [Québec]
MESS	Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science [Québec]
MICT	Ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie [Québec]
MITI	Ministère du Commerce international et de l'Industrie [Japon]
NABI	National Agriculture Biotechnology Initiative
NIH	National Institutes of Health [É.-U.]
NSF	National Science Foundation [É.-U.]
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
PAPRICAN	Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers
PCP	Pentachlorophénol
PME	Petite(s) et moyenne(s) entreprise(s)
R-D	Recherche-développement
SDI	Société de développement industriel [Québec]
SIDA	Syndrôme d'immuno-déficience acquise
SOQUIA	Société québécoise d'initiatives agro-alimentaires [Québec]
STELA	Groupe de recherche en sciences et technologie du lait [Université Laval]

UFTM	Unité de formation technique et méthodologique
UQ	Université du Québec
UQAC	Université du Québec à Chicoutimi
UQAM	Université du Québec à Montréal
UQAR	Université du Québec à Rimouski
UQAT	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières

Gouvernement du Québec
Conseil de la science
et de la technologie